

DISEÑO DE SISTEMA CARDÁNICO PARA MOVIMIENTO DE UNA VIDEO  
CÁMARA CON TRES GRADOS DE LIBERTAD

YOLIMA GUSTÍN FRANCO  
JAHUER SMITH ARBELAEZ GARCIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006

DISEÑO DE SISTEMA CARDÁNICO PARA MOVIMIENTO DE UNA VIDEO  
CÁMARA CON TRES GRADOS DE LIBERTAD

YOLIMA GUSTÍN FRANCO  
JAHUER SMITH ARBELAEZ GARCIA

Pasantia para optar el título de  
Ingeniero Mecatronico

Director  
DRAGO DUSSICH  
Ingeniero Mecatronico

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006

Nota de aceptación:

Aprobada por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar el título de Ingeniero Mecatronico.

Ing. ANDRES FELIPE NAVAS  
Jurado

Ing. ADOLFO ORTIZ  
Jurado

Santiago de Cali, 22 de Junio de 2006

## CONTENIDO

Pág.

|  |    |
|--|----|
| GLOSARIO   | 10 |
| RESUMEN  | 11 |
| INTRODUCCIÓN   | 14 |
| 1. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN  | 14 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO   | 14 |
| 1.2 PRINCIPALES OBJETIVOS DE MARKETING   | 14 |
| 1.3 MERCADO PRIMARIO   | 14 |
| 1.4 PREMISAS Y RESTRICCIONES   | 14 |
| 1.5 PARTES IMPLICADAS  | 15 |
| 2. OBJETIVOS   | 16 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL.  | 16 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS  | 16 |
| 3. PLANTEAMIENTO E IDENTIFICACION DE NECESIDADES   | 17 |
| 3.1 NECESIDADES DE USUARIO   | 17 |
| 3.2 NECESIDADES DEL CLIENTE  | 18 |
| 3.3 NECESIDADES DE DISEÑO  | 19 |
| 3.4 JERARQUIZACIÓN DE LAS NECESIDADES  | 20 |
| 4. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DEL PRODUCTO  | 23 |
| 4.1 ESTABLECIMIENTO DE UNIDADES Y MEDIDAS  | 23 |
| 4.2 LISTA DE MEDICIONES  | 23 |
| 4.3 COMPARACIÓN DE LAS NECESIDADES CON SUS MÉTRICAS                                      | 24 |
| 4.4 SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE EN PRODUCTOS COMPETIDORES (BENCHMARKING) | 26 |
| 4.5 EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS EN PRODUCTOS COMPETIDORES                                  | 27 |
| 4.6 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES  | 28 |
| 5. GENERACION DE CONCEPTOS   | 29 |
| 5.1 CLARIFICAR EL PROBLEMA   | 29 |
| 5.1.1 Caja negra   | 30 |
| 5.1.2 Diagrama funcional   | 31 |
| 5.1.3 Descomposición de ruta critica   | 32 |
| 5.1.3.1 Subfusiones criticas de diseño   | 32 |
| 5.2 BÚSQUEDA EXTERNA   | 33 |
| 5.3 BÚSQUEDA INTERNA   | 33 |
| 5.4 EXPLORACIÓN SISTÉMICA  | 34 |
| 5.4.1 Árbol clasificación de conceptos   | 36 |
| 5.4.2 Tabla de combinación de conceptos  | 44 |
| 5.4.3 Bosquejo de los conceptos  | 45 |
| 6. SELECCIÓN DE CONCEPTOS  | 46 |

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| 6.1 MATRIZ DE TAMIZAJE   | 47          |
| 6.2 MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE CONCEPTOS                                    | 48          |
| 6.3 ESPECIFICACIONES FINALES   | 48          |
| 7. DISEÑO A NIVEL DE SISTEMA   | 50          |
| 7.1 ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO                               | 50          |
| 7.2 ARQUITECTURA A NIVEL DE SISTEMA, SUBSISTEMA Y COMPONENTES              | 51          |
| 7.3 ESQUEMA DEL PRODUCTO   | 53          |
| 7.3.1 Agrupación de los elementos en chunks                                | 53          |
| 7.4 DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA  | 55          |
| 7.5 INTERACCIONES INCIDENTALES   | 57          |
| 8. DISEÑO INDUSTRIAL   | 59          |
| 8.1 VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL                                       | 59          |
| 8.1.1 Necesidades ergonómicas  | 59          |
| 8.1.2 Necesidades estéticas  | 60          |
| 8.2 DOMINADO POR LA TECNOLOGÍA O POR EL USUARIO                            | 61          |
| 8.3 ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO                      | 61          |
| 8.3.1 Selección del servomotor   | 63          |
| 9. DISEÑO PARA MANUFACTURA   | 67          |
| 9.1 COSTOS DE MANUFACTURA  | 68          |
| 9.2 ANALISIS DE COSTOS   | 73          |
| 9.3 DESCOMPOSICION DE LOS COSTOS DE LOS COMPONENTES PROPIOS                | 74          |
| 9.4 COSTO Y TOTAL TIEMPO PROCESO DE MANUFACTURA DE LOS COMPONENTES PROPIOS | 82          |
| 9.5 COSTO Y TIEMPO TOTAL ENSAMBLE SISTEMA CARDÁNICO                        | 83          |
| 10. PROTOTIPADO  | 84          |
| 11. DISEÑO DETALLADO   | 86          |
| 11.1 DOCUMENTACION ELECTRONICA   | 86          |
| 11.1.1 Diagrama de bloques programación                                    | 87          |
| 11.2 DOCUMENTACION MECANICA  | 91          |
| 11.3 SELECCION DE MATERIALES   | 91          |
| 11.4 SELECCIÓN DE ENGRANAJES   | 96          |
| 11.5 SELECCIÓN DE SENSORES   | 99          |
| 11.6 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS  | 105         |
| 11.7 SISTEMA DE CONTROL INHALAMBRICO                                       | 111         |
| 12. CONCLUSIONES   | 113         |
| BIBLIOGRAFIA   | 114         |
| ANEXOS   | 116         |

## LISTA DE TABLAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Tabla 1. Necesidades del usuario  | 17          |
| Tabla 2. Necesidades del cliente  | 18          |
| Tabla 3. Necesidades de diseño  | 19          |
| Tabla 4. Jerarquizacion de necesidades de usuario                                   | 20          |
| Tabla 5. Jerarquizacion de necesidades de cliente                                   | 21          |
| Tabla 6. Jerarquizacion de necesidades de diseño                                    | 22          |
| Tabla 7. Lista de mediciones  | 24          |
| Tabla 8. Comparación de las necesidades con sus métricas                            | 25          |
| Tabla 9. Satisfacción de las necesidades en productos competidores                  | 26          |
| Tabla 10. Evaluación de las medidas en productos competidores                       | 27          |
| Tabla 11. Especificaciones preliminares   | 28          |
| Tabla 12. Matriz de tamizaje  | 47          |
| Tabla 13. Matriz para evaluación de conceptos                                       | 48          |
| Tabla 14. Especificaciones finales  | 49          |
| Tabla 15. Relación de los elementos físicos y funcionales                           | 51          |
| Tabla 16. Arquitectura a nivel de sistema, subsistema y componentes                 | 52          |
| Tabla 17. Manufactura realizada a componentes propios                               | 69          |
| Tabla 18. Análisis costos de componentes estándares                                 | 74          |
| Tabla 19. Costo y Total Tiempo Proceso de Manufactura De los<br>Componentes Propios | 82          |
| Tabla 20. Costo y tiempo total ensamble sistema cardánico.                          | 83          |
| Tabla 21. Propiedades de los materiales polietilenos                                | 95          |
| Tabla 22. Especificaciones CXL04M3  | 104         |
| Tabla 23. Especificaciones rodamiento 6002N 99                                      | 105         |
| Tabla 24. Especificaciones Rodamiento 6006N   | 106         |
| Tabla 25. Especificaciones rodamiento 6006N   | 107         |
| Tabla 26. Especificaciones rodamiento 30206   | 108         |
| Tabla 27. Especificaciones rodamiento 30206   | 109         |
| Tabla 28. Especificaciones rodamiento 30206   | 109         |
| Tabla 29. Especificaciones rodamiento 51120   | 110         |

## LISTA DE FIGURAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Figura 1. Caja Negra                                      | 30          |
| Figura 2. Descomposición funcional                        | 31          |
| Figura 3. Aceptar energía                                 | 36          |
| Figura 4. Convertir energía en movimiento                 | 37          |
| Figura 5. Recibir señales                                 | 37          |
| Figura 6. Captar movimiento                               | 38          |
| Figura 7. Captar función zoom                             | 38          |
| Figura 8. Procesar señales                                | 39          |
| Figura 9. Comunicación video y datos                      | 39          |
| Figura 10. Microcontrolador                               | 39          |
| Figura 11. Sensado posición                               | 40          |
| Figura 12. Mover cámara                                   | 41          |
| Figura 13. Enfoque zoom                                   | 42          |
| Figura 14. Gimbal mount                                   | 42          |
| Figura 15. Video Cámara                                   | 43          |
| Figura 16. Prototipos                                     | 45          |
| Figura 17. Esquema del producto                           | 53          |
| Figura 18. Agrupación de los elementos por chuncks        | 54          |
| Figura 19. Vista exterior del sistema                     | 55          |
| Figura 20. Vista interior del sistema                     | 56          |
| Figura 21. Sistema de giro video cámara                   | 56          |
| Figura 22. Sistema de giro para 3GL video cámara          | 57          |
| Figura 23. Interacciones incidentales entre sistemas      | 57          |
| Figura 24. Valoración de las necesidades ergonómicas      | 59          |
| Figura 25. Valoración de las necesidades estéticas        | 60          |
| Figura 26. Dominado por la tecnología o por el usuario    | 61          |
| Figura 27. Arquitectura del sistema electrónico           | 62          |
| Figura 28. Control de giro de un motor con I293b          | 63          |
| Figura 29. Servomotor S5302                               | 64          |
| Figura 30. Servomotor S3102                               | 65          |
| Figura 31. Servomotor HSR-S995TG                          | 66          |
| Figura 32. Costos de manufactura                          | 68          |
| Figura 33. Prototipo en Solid Edge                        | 85          |
| Figura 34. Pic  | 86          |
| Figura 35. Diagrama de bloques de la programación         | 87          |
| Figura 36. Diagrama de bloques de la programación $\mu_1$ | 88          |
| Figura 37. Diagrama de bloques de la programación $\mu_2$ | 89          |
| Figura 38. Diagrama de bloques de la programación $\mu_3$ | 90          |
| Figura 39. Diagrama de bloques de la programación zoom    | 91          |

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Figura 40. Engranaje recto                                       | 96          |
| Figura 41. Engranaje anular                                      | 97          |
| Figura 42. Engranaje conico                                      | 97          |
| Figura 43. Engranaje helicoidal                                  | 98          |
| Figura 44. Engranaje tornillo sin fin corona                     | 99          |
| Figura 45. Gyroscopio GY401                                      | 100         |
| Figura 46. Diagrama conexión gyroscopio                          | 101         |
| Figura 47. Sensor Piher A15                                      | 102         |
| Figura 48. Módulo Triaxial CXL04M3                               | 103         |
| Figura 49. Sistema de conexión CXL04M3                           | 104         |
| Figura 50. Rodamiento 6006N                                      | 105         |
| Figura 51. Rodamiento 30206                                      | 107         |
| Figura 52. Rodamiento 51120                                      | 108         |
| Figura 53. Xstream PKG   | 111         |
| Figura 54. Combo Special   | 116         |
| Figura 54. 100 mw color airborne vides & virtual reality glasses | 117         |
| Figura 55. Fokker d-vii / lwv14                                  | 118         |
| Figura 56. Especificaciones Shadow 200                           | 120         |
| Figura 57. Especificaciones Shadow 200                           | 121         |
| Figura 58. 3DVisor   | 148         |
| Figura 59. Paso 1  | 151         |
| Figura 60. Paso 2  | 152         |
| Figura 61. Paso 3  | 152         |
| Figura 62. Paso 4  | 152         |
| Figura 63. Paso 5  | 153         |
| Figura 64. Paso 6  | 153         |
| Figura 65. Paso 7  | 154         |



## LISTA DE ANEXOS

|                                  | <b>Pág.</b> |
|----------------------------------|-------------|
| Anexo 1. Competidores            | 114         |
| Anexo 2. Planos mecánicos        | 122         |
| Anexo 3. Formato Ifac            | 142         |
| Anexo 4. Aclaraciones            | 148         |
| Anexo 5. Manual de mantenimiento | 150         |

## **GLOSARIO**

GDL: (grados de libertad)

FLIR: cámaras infrarrojas para todo tipo de aplicaciones termografía, visión artificial.

GIMBAL MOUNT: sistema de montaje de cardanes que se utilizan para realizar montajes ópticos o como sistema de movimiento.

GIS: sistemas de información geográfica.

GPS: sistema de posicionamiento global.

SERVOMECANISMO: es un sistema compuesto formado de partes tanto mecánicas como electrónicas, puede estar formado también de partes neumáticas, hidráulicas y controladas con precisión.

UAV: vehículo aéreo no tripulado.

## RESUMEN

Un vehículo aéreo no tripulado (por sus siglas del inglés UAV *Unmanned Aerial Vehicle*), no son mas que aeronaves con sistemas que combinan información procedente de sistemas de posicionamiento como GPS, navegación mediante GIS, servomecanismos, etc. La CPU que lleva a bordo se encarga de *pilotar* sin que sea necesario disponer de un humano a bordo.

En la actualidad los UAVs equipados con cámara de visión nocturna “Flir” se puede utilizar para una variedad de propósitos. Por ejemplo, pueden ser utilizadas para grabar escenas cinematográficas, a los reporteros de las noticias, a la industria del turismo, para buscar y rescatar a personas en las localizaciones o las circunstancias peligrosas (derrumbamientos, derramamientos y fuegos). Se pueden aplicar en ambientes de alta toxicidad química y radiológicos en desastres tipo Chernobyl en el que sea necesario tomar muestras con alto peligro de vidas humanas y realizar tareas de control de ambiente.

En este momento el control de estos sistemas se realizan por dos o más personas desde una estación de control en tierra, una de ellas se encuentra al mando de la posición y visión de la cámara y la otra a mando de los controles del aeromodelo; debido a esto las acciones de reconocimiento se hacen complejas a causa de la no coordinación entre los operadores de la visión y el control del aeromodelo puesto que se hace difícil el reconocimiento de una zona en especial cuando el aeromodelo se encuentra en otra posición.

Para solucionar dicho problema se esta implementando un sistema de control en tiempo real (Casco y guante de Realidad Virtual) en que una sola persona realiza ambas funciones con controles muy intuitivos; básicamente en resolver dicho problema se basa el proyecto desarrollado, pues tiene como finalidad diseñar un sistema cardánico de tres grados de libertad para sujetar una video camara que ira encapsulada en el UAV para adquirir video en el momento que se necesite, la posición de la video camara podra ser controlada desde tierra por medio de un casco de realidad virtual, teniendo como limitacion en el movimiento el angulo de giro de la cabeza humana.

## INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos involucran la creación de nuevas necesidades y estas a su vez obligan a rediseñar o innovar la tecnología existente. Las innovaciones tecnológicas contribuyen a una mejor calidad de vida para las personas; estas implican nuevas necesidades que se deben de suplir en diferentes ramas de la vida cotidiana como lo son el trabajo la educación, la recreación, la salud, la seguridad, comunicación y el entorno.

El objetivo principal en este trabajo consiste básicamente en el desarrollo del control de movimiento de una video cámara, y diseño de un mecanismo de 3GDL que soporta dicha video cámara que se encuentra montada en un “Gimbal Mount” o sistema cardánico dentro de un aeromodelo radio controlado.

Para ello, es necesario utilizar las herramientas de la Ingeniería en muchos de sus campos, incluyendo el análisis de sistemas, el control automático, la instrumentación, la electrónica, la mecánica, el diseño eléctrico y la realidad virtual. Todas estas áreas se combinan y toman parte en este trabajo, dando como resultado un trabajo abierto en el sentido de aceptar mejoras y permitir el análisis de diferentes mecanismos de Control Automático en un sistema real tan interesante.

A continuación se mostraran las cinco fases del diseño Mecatrónico utilizadas en el desarrollo del sistema cardánico.

**Fase 1** Desarrollo de un producto del método estructurado de diseño en la que se realizó la identificación de necesidades y especificaciones preeliminares, se recolectaron datos por medio de la red de productos similares existentes en el mercado actual (benchmarking) y así poder evaluar el nivel satisfacción que pueden llegar a tener los clientes con el producto que estamos desarrollando. Basándonos en las medidas y necesidades se establecieron unos valores finales como prueba para empezar a desarrollar el proyecto con bases numéricas reales.

**Fase 2** Etapas de generación, selección y prueba de conceptos con un proceso de búsqueda de conceptos y elementos a utilizar en la solución de nuestros problemas. Continuamos con la evaluación de cada uno de estos conceptos generados, mediante investigación de expertos, o consultas bibliográficas descartando las menos viables y documentando los conceptos más favorables para nuestro caso.

**Fase 3** Para el diseño industrial, los resultados parten del análisis desarrollado tanto de las necesidades ergonómicas como estéticas, y estos nos indican la importancia que deben tener en el esfuerzo de desarrollo por parte de los diseñadores, así como también el tipo de orientación del desarrollo (Usuario o Tecnología).

**Fase 4** El DPM (Diseño Para Manufactura), observamos la participación de este en las etapas de diseño anteriores así como también el análisis correspondiente de los costos de manufactura y el diseño para ensamble, que como resultado nos brinda una estimación del Tiempo de ensamble y la posibilidad de disminuir costos mediante el método de integración de piezas.

**Fase 5** El prototipado, los resultados se centran en la selección de los prototipos definiendo la utilidad y usos que se darán a estos.

## **1. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO**

Mecanismo de sujeción de una video cámara con tres grados de libertad para un aeromodelo con comunicación inalámbrica.

### **1.2 PRINCIPALES OBJETIVOS DE MARKETING**

- Introducir el dispositivo en el mercado para finales del año 2006.
- Desarrollar un producto innovador con el fin de captar la atención de los consumidores.
- Servir de plataforma para futuros proyectos similares que ayuden al crecimiento tecnológico, y económico del país.

### **1.3 MERCADO PRIMARIO Y SECUNDARIO**

- Fuerzas militares de Colombia.
- Organizaciones ambientales y meteorológicas.
- Seguridad empresarial (oleoductos, líneas eléctricas).
- Alcaldías y gobernaciones para control catastral.
- Secretaria de transito para control de trafico.
- Canales de televisión para transmisión de juegos o escenas en vivo.

### **1.4 PREMISAS Y RESTRICCIONES**

- Tamaño adecuado.
- Facilidad de interacción.
- Estéticamente agradable
- Facilidad de instalación
- Robusto
- Flexible
- Peso

## **1.5 PARTES IMPLICADAS**

- Usuarios

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GENERAL**

Diseñar un sistema cardánico para movimiento de una video cámara con tres grados de libertad.

### **2.2 ESPECIFICOS**

- Diseñar la estructura mecánica del sistema cardánico.
- Realizar el diseño industrial del sistema cardánico.
- Realizar diseño para manufactura y ensamble.
- Seleccionar componentes electrónicos y mecánicos.
- Utilizar un medio de comunicación inalámbrica para enviar y recibir señales.
- Realizar un análisis de costos del proyecto
- Desarrollo del proceso tecnológico de fabricación.



### 3. PLANTEAMIENTO E IDENTIFICACION DE NECESIDADES

#### 3.1 NECESIDADES DE USUARIO

Tabla 1. Necesidades del usuario

|   |  |                          |
|---|--|--------------------------|
| 1 | "Que sea fácil de usar."   | Facilidad de uso.        |
| 2 | "Que se pueda adaptar debajo del fuselaje y sacarse fácilmente"                                | Ergonomía.               |
| 3 | "Que las ordenes de mando que se le de al sistema sean ejecutadas en el menor tiempo posible." | Sistema en tiempo real.  |
| 4 | "Que la señal de telemetría no interfiera en el funcionamiento del los demás sistemas."        | Señales precisas.        |
| 5 | "Que el software sea fácil de manejar."  | Software intuitivo.      |
| 6 | "En el aterrizaje la cámara deberá de estabilizarse con la posición del aeromodelo."           | Alineación de la cámara. |

### 3.2 NECESIDADES DEL CLIENTE

Tabla 2. Necesidades del cliente

|    |  |   |
|----|--|---|
| 7  | "Que se pueda tomar imágenes de video de forma estable."                                   | Estabilidad d Mecanismo de sujeción.                    |
| 8  | "Este aparato debe ser muy robusto."   | Robustez.   |
| 9  | "Este aparato debe ser muy confiable."   | Confiabilidad.  |
| 10 | "Este aparato debe ser muy seguro."  | Seguridad.  |
| 11 | "Este aparato debe ubicarse en un lugar que proporcione mayor visibilidad."                | Instalación de mayor vista panorámica en el aeromodelo. |
| 12 | "La alimentación del sistema no podrá sobrepasar la del aeromodelo."                       | El sistema se alimentara con 12V.                       |
| 13 | "La base de la cámara deberá tener una inclinación y dos rotaciones."                      | El mecanismo de soporte de la cámara tendrá 3GL.        |
| 14 | "El sistema deberá ser diseñado en materiales resistentes y livianos."                     | El sistema será construido en materiales compuestos.    |
| 15 | "Me gustaría que cuando de la señal de control el mecanismo responda inmediatamente."      | El mecanismo trabaja en Tiempo Real.                    |
| 16 | "Me gustaría que cuando mueva el casco de realidad virtual se mueva la cámara."            | Que la cámara se mueva simultáneamente con el casco RV. |
| 17 | "Que el zoom óptico pueda ser manejado mediante un guante de RV"                           | Guante de RV Con comandos de zoom.                      |
| 18 | "Que no tome mucho tiempo instalar la cámara sobre el mecanismo de sujeción y movimiento." | Fácil ensamble.   |
| 19 | "Que el sistema haga el procesamiento de datos a través de un PC portátil "                | Software de Control.                                    |

### 3.3 NECESIDADES DE DISEÑO

Tabla 3. Necesidades de diseño

|    |  |                                  |
|----|--|----------------------------------|
| 21 | "Todos las piezas que se utilicen en el sistema cardánico deben de ser de fácil consecución."                | Piezas de fácil consecución.     |
| 22 | "Todas las piezas que se diseñen deben ser de fácil manufactura."  | Piezas de fácil manufactura.     |
| 23 | "Si alguna pieza del sistema sufre daños, se pueda cambiar fácilmente"                                       | Partes fácilmente reemplazables. |
| 24 | "El dispositivo debe ser lo mas robusto posible."  | Robustez.                        |
| 25 | "El dispositivo debe de ser muy confiable."  | Confiability.                    |
| 26 | "Los materiales que se utilicen en el sistema cardánico deberán ser en lo posible económicos."               | Bajo costo.                      |
| 27 | "Los materiales que se utilicen en el sistema cardánico deberán ser en lo posible de una muy buena calidad." | Alta calidad.                    |
| 28 | "El mantenimiento (correctivo y preventivo) del sistema cardánico debe de ser muy fácil."                    | Facilidad de mantenimiento.      |
| 29 | "En lo posible procurar diseñar un producto con un largo ciclo de vida."                                     | Ciclo de vida.                   |
| 30 | "El sonido de los motores y de los mecanismos no deberá interferir con el funcionamiento de la video cámara" | Aislamiento acústico.            |
| 31 | "El sistema cardánico deberá ser lo mas seguro posible."   | Seguridad.                       |
| 32 | "La instalación de la video Cámara en el sistema cardánico debe ser muy sencilla."                           | Facilidad de instalación.        |

### 3.4 JERARQUIZACIÓN DE NECESIDADES

Con la jerarquización de las necesidades identificadas tanto del usuario, cliente como de diseño se pretende determinar cuales de estas son las mas relevantes a la hora de diseñar y tomar decisiones; para esto se asumió una calificación de 1 a 5 para el nivel de importancia entendiéndose como 5 la máxima y 1 la mínima relevancia.

Tabla 4. Jerarquización de las necesidades de usuario

| # | TIPO           | NECESIDADES DE USUARIO   | IMP. |
|---|----------------|--------------------------|------|
| 1 | FUNCIONAMIENTO | Facilidad de uso.        | 5    |
| 2 | ESTRUCTURA     | Ergonomía.               | 4    |
| 3 | FUNCIONAMIENTO | Sistema en tiempo real.  | 5    |
| 4 | FUNCIONAMIENTO | Señales precisas.        | 5    |
| 5 | FUNCIONAMIENTO | Software intuitivo.      | 4    |
| 6 | FUNCIONAMIENTO | Alineación de la cámara. | 5    |

Tabla 5. Jerarquización de las necesidades del cliente

| #  | TIPO                    | NECESIDADES DEL CLIENTE                                 | IMP. |
|----|-------------------------|---|------|
| 7  | FUNCIONAMIENTO          | Estabilidad del Mecanismo de sujeción.                  | 5    |
| 8  | DISEÑO                  | Robustez.   | 4    |
| 9  | FUNCIONAMIENTO          | Confiabilidad.  | 5    |
| 10 | FUNCIONAMIENTO          | Seguridad.  | 5    |
| 11 | DISEÑO                  | Instalación de mayor vista panorámica en el aeromodelo. | 4    |
| 12 | FUNCIONAMIENTO          | El sistema se alimentará con 12V.                       | 5    |
| 13 | DISEÑO                  | El mecanismo de soporte de la cámara tendrá 3GL.        | 5    |
| 14 | DISEÑO                  | El sistema será construido en materiales compuestos.    | 4    |
| 15 | FUNCIONAMIENTO          | El mecanismo trabaja en Tiempo Real.                    | 5    |
| 16 | FUNCIONAMIENTO          | Que la cámara se mueva simultáneamente con el casco RV. | 5    |
| 17 | FUNCIONAMIENTO / DISEÑO | Guante de RV Con comandos de zoom.                      | 5    |
| 18 | DISEÑO                  | Fácil ensamble.   | 4    |
| 19 | DISEÑO                  | Software de Control.                                    | 4    |
| 20 | DISEÑO                  | Acción de control para cada grado de libertad.          | 5    |

Tabla 6. Jerarquización de las necesidades de diseño

| #  | TIPO          | NECESIDADES DE DISEÑO            | IMP. |
|----|---------------|----------------------------------|------|
| 21 | ECONOMIA      | Piezas de fácil consecución.     | 4    |
| 22 | DISEÑO        | Piezas de fácil manufactura.     | 5    |
| 23 | MANTENIMIENTO | Partes fácilmente reemplazables. | 5    |
| 24 | DISEÑO        | Robustez.                        | 4    |
| 25 | DISEÑO        | Confiabilidad.                   | 5    |
| 26 | ECONOMIA      | Bajo costo.                      | 4    |
| 27 | DISEÑO        | Alta calidad.                    | 5    |
| 28 | MANTENIMIENTO | Facilidad de mantenimiento.      | 4    |
| 29 | ESTRUCTURA    | Ciclo de vida.                   | 3    |
| 30 | ESTRUCTURA    | Aislamiento acústico.            | 4    |
| 31 | DISEÑO        | Seguridad.                       | 5    |
| 32 | MANTENIMIENTO | Facilidad de instalación.        | 4    |

## **4. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DEL PRODUCTO**

### **4.1 ESTABLECIMIENTO DE UNIDADES Y MEDIDAS**

Para establecer estas métricas se realizó un benchmarking con algunos sistemas que poseen principios de funcionamiento similares; tratando de resaltar algunos de los aspectos en los cuales los competidores no han prestado especial atención.

### **4.2 LISTA DE MEDICIONES**

Las métricas no son más que una traducción de las necesidades a una medida con su respectiva unidad de medida.

Las métricas deben ser variables dependientes, completas y prácticas aún en los casos en que alguna necesidad no sea fácil de traducir a una medida se establecen de igual forma pero con unidades subjetivas ("subj.").

Tabla 7. Lista de mediciones

| #  | Necesidad                                  | Métrica                                   | Imp. | Unidad              |
|----|--|---|------|---------------------|
| 1  | 7,14,24,27,30                              | Peso.                                     | 5    | Kg.                 |
| 2  | 18,23,28,29, 31,32                         | Facilidad de instalación y mantenimiento. | 4    | (sub.)              |
| 3  | 2  | Ergonomía.                                | 4    | (Bin)               |
| 4  | 3,4,9,15,16,<br>17,19,20,25                | Control y mando                           | 5    | tiempo<br>respuesta |
| 5  | 10,31                                      | Seguridad                                 | 5    | %                   |
| 6  | 12   | Alimentación eléctrica                    | 4    | V                   |
| 7  | 6,16,19,20                                 | Movimiento de rotación                    | 5    | GDL                 |
| 8  | 10   | Facilidad de uso                          | 5    | (Bin)               |
| 9  | 3,4,15                                     | Transmisión de datos                      | 5    | (Kbyte/s)           |
| 10 | 4,15                                       | Alcance                                   | 4    | Km.                 |
| 11 | 5,19                                       | Software                                  | 5    | (Sub)               |
| 12 | 6,9,16,19                                  | Angulo de rotación                        | 4    | Grados              |
| 13 | 7,8,9,10,11,13,14,18,<br>22,23,24,27,30,31 | Diseño                                    | 5    | (Sub)               |
| 14 | 14,21,22,26, 27,28                         | Costos                                    | 3    | \$                  |



### 4.3 COMPARACIÓN DE LAS NECESIDADES CON SUS MÉTRICAS

Tabla 8. Comparación de las necesidades con sus métricas

| #  | Necesidades  | Imp | Métricas |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        |        |
|----|--|-----|----------|---|-----------|-----------------|-----------|------------------------|------------------------|------------------|------------|---------|----------|--------------------|--------|--------|
|    |  |     | Peso     | Facilidad de instalación y mantenimiento. | Ergonomía | Control y mando | Seguridad | Alimentación eléctrica | Movimiento de rotación | Facilidad de uso | Telemetría | Alcance | Software | Angulo de rotación | Diseño | Costos |
| 1  | Facilidad de uso.  | 5   |          |   |           |                 |           |                        |                        | 5                |            |         |          |                    |        |        |
| 2  | Ergonomía.   | 4   |          |   | 5         |                 |           |                        |                        | 5                |            |         |          |                    |        |        |
| 3  | Sistema en tiempo real.                                    | 5   |          |   |           | 5               |           |                        |                        |                  | 5          | 5       |          |                    |        |        |
| 4  | Señales precisas.  | 5   |          |   |           | 5               |           |                        |                        |                  | 5          | 5       |          |                    |        |        |
| 5  | Software intuitivo.  | 4   |          |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         | 5        |                    |        |        |
| 6  | Alineación de la cámara.                                   | 5   |          |   |           |                 |           |                        | 5                      |                  |            |         |          | 5                  |        |        |
| 7  | Estabilidad del Mecanismo de sujeción.                     | 5   | 5        |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    | 5      |        |
| 8  | Robustez.  | 4   | 3        |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    | 5      |        |
| 9  | Confiabilidad.   | 5   |          |   |           | 3               |           |                        |                        |                  |            |         |          | 5                  | 5      |        |
| 10 | Seguridad.   | 5   |          | 5   |           |                 | 5         |                        |                        | 3                |            |         |          |                    | 5      |        |
| 11 | Instalación de mayor vista panorámica en el aeromodelo.    | 4   |          |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    | 5      |        |
| 12 | El sistema se alimentara con 12V.                          | 5   |          |   |           |                 |           | 5                      |                        |                  |            |         |          |                    |        |        |
| 13 | El mecanismo de soporte de la cámara tendrá 3GL.           | 5   |          |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    | 5      |        |
| 14 | El sistema será construido en materiales compuestos.       | 4   | 5        |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    | 5      | 3      |
| 15 | Que la cámara se mueva simultaneamente con el casco de RV. | 5   |          |   |           | 3               |           |                        | 5                      |                  |            |         |          | 5                  |        |        |
| 16 | Guante de RV con comandos de zoom.                         | 5   |          |   |           | 1               |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        |        |
| 17 | Fácil Ensamble   | 4   |          | 3   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    | 3      |        |
| 18 | Software de Control.                                       | 4   |          |   |           | 5               |           |                        | 5                      |                  |            |         | 5        | 5                  |        |        |
| 19 | Acción de control para cada grado de libertad.             | 5   |          |   |           | 5               |           |                        | 5                      |                  |            |         |          |                    |        |        |
| 20 | Piezas de fácil consecución.                               | 4   |          |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        | 5      |
| 21 | Piezas de fácil manufactura.                               | 5   |          |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    | 3      | 3      |
| 22 | Partes fácilmente reemplazables.                           | 5   |          | 3   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    | 3      |        |
| 23 | Alta calidad.  | 5   | 3        |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        | 5      |
| 24 | Bajo costo.  | 4   |          |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        | 5      |
| 25 | Facilidad de mantenimiento.                                | 4   |          | 3   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        | 5      |
| 26 | Ciclo de vida.   | 3   |          | 5   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        |        |
| 27 | Aislamiento acústico.                                      | 4   | 1        |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    | 3      |        |
| 28 | Facilidad de instalación.                                  | 4   |          | 5   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        |        |
|    |  |     | 76       | 99  | 20        | 130             | 25        | 25                     | 95                     | 52               | 50         | 50      | 40       | 95                 | 214    | 112    |
|    |  |     | 7        | 9,14                                      | 2         | 12              | 2         | 2                      | 9                      | 5                | 5          | 5       | 4        | 9                  | 20     | 10     |
|    |  |     |          |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        | 1083   |
|    |  |     |          |   |           |                 |           |                        |                        |                  |            |         |          |                    |        | 100    |

#### 4.4 SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE EN PRODUCTOS COMPETIDORES (BENCHMARKING).

Tabla 9. Satisfacción de las necesidades en productos competidores

|    | NECESIDAD                                   | MÉTRICA                                      | I<br>M<br>P | UNID.               | COMBO<br>VIDEO &<br>VIRTUAL<br>REALITY | FOKER<br>D-VII /<br>LWV14 | SHADOW<br>200<br>TUAV |
|----|---|--|-------------|---------------------|--|---------------------------|-----------------------|
| 1  | 7,14,24,27,<br>30                           | Peso.  | 5           | Kg                  | ---                                    | ----                      | -----                 |
| 2  | 18,23 28<br>29,31,32                        | Facilidad de instalación<br>y mantenimiento. | 4           | (Sub)               | Buena                                  | Buena                     | Excelent              |
| 3  | 2   | Ergonomía.                                   | 4           | (Sub)               | Buena                                  | Buena                     | Regular               |
| 4  | 3,4 9,15,16,1<br>7,19,21,25                 | Control y mando                              | 5           | Tiempo<br>respuesta | Buena                                  | Buena                     | Buena                 |
| 5  | 10,31                                       | Seguridad                                    | 5           | %                   | 50%                                    | 50%                       | 80%                   |
| 6  | 12  | Alimentación eléctrica                       | 4           | V                   | 12V                                    | 12V                       | 12V                   |
| 7  | 6,16,13,23                                  | Movimiento de rotación                       | 5           | GDL                 | 0                                      | 1                         | 3                     |
| 8  | 10  | Facilidad de uso                             | 5           | (Bir)               | 3i                                     | Si                        | 3i                    |
| 9  | 3,4, 5                                      | Transmisión de datos                         | 5           | Kbyte/s             | ---                                    | ---                       | ---                   |
| 10 | 4,15  | Alcance                                      | 4           | <m.                 | 2.5                                    | 2.5                       | 125                   |
| 11 | 5,13  | Software                                     | 5           | (Sub)               | ----                                   | ----                      | -----                 |
| 12 | 6,9,16,19                                   | Angulo de rotación                           | 4           | Grados              | 0                                      | 180                       | 180                   |
| 13 | 7,8 9,10,11,1<br>3,1418,22,23<br>24,2730,31 | Diseño                                       | 5           | (Sub)               | Regular                                | Buena                     | Excelent              |
| 14 | 14,21,2226,2<br>7,23                        | Costos                                       | 3           | US \$               | 699                                    | 678.99                    | -----                 |

En la tabla 9 se analizó la relación entre las métricas estimadas por el grupo de diseño y el nivel de importancia de cada una de estas para cada competidor, obteniendo como resultado las fortalezas y debilidades de cada producto de la competencia y el grado de satisfacción frente a un posible mercado. Estos modelos permiten establecer comparaciones y definir las especificaciones finales del dispositivo. A continuación se realizara la evaluación de las medidas o métricas ya establecidas en los productos competidores seleccionados del mercado nacional e internacional; esta evaluación es muy importante para el proceso de diseño pues no ayuda a encontrar las falencias de la competencia al igual que las ventajas que estas ofrecen a los clientes para tratar de superarlos o igualarlos logrando así que nuestro producto sea mejor que los ya existentes.

#### 4.5 EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS EN PRODUCTOS COMPETIDORES

Tabla 10. Evaluación de las medidas en productos competidores

| #  | Necesidades   | I<br>M<br>P | Video<br>&<br>Virtual<br>Reality | Fokker<br>D-VII<br>LWV14 | Shadow<br>200<br>Tuav |
|----|---|-------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1  | Facilidad de uso.                                       | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 2  | Ergonomía.  | 4           | @                                | @                        | @                     |
| 3  | Sistema en tiempo real.                                 | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 4  | Señales precisas.                                       | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 5  | Software intuitivo.                                     | 4           | @                                | @                        | @                     |
| 6  | Alineación de la cámara.                                | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 7  | Estabilidad del Mecanismo de sujeción.                  | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 8  | Robustez.   | 4           | @                                | @                        | @                     |
| 9  | Confiabilidad.  | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 10 | Seguridad.  | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 11 | Instalación de mayor vista panorámica en el aeromodelo. | 4           | @                                | @                        | @                     |
| 12 | El sistema se alimentara con 12V.                       | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 13 | El mecanismo de soporte de la cámara tendrá 3GL.        | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 14 | El sistema será construido en materiales compuestos.    | 4           | @                                | @                        | @                     |
| 15 | Que la cámara se mueva simultáneamente con el casco RV. | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 16 | Guante de RV Con comandos de zoom.                      | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 17 | Fácil ensamble.   | 4           | @                                | @                        | @                     |
| 18 | Software de Control.                                    | 4           | @                                | @                        | @                     |
| 19 | Acción de control para cada grado de libertad.          | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 20 | Piezas de fácil consecución.                            | 4           | @                                | @                        | @                     |
| 21 | Piezas de fácil manufactura.                            | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 22 | Partes fácilmente reemplazables.                        | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 23 | Bajo costo.   | 4           | @                                | @                        | @                     |
| 24 | Alta calidad.   | 5           | @                                | @                        | @                     |
| 25 | Facilidad de mantenimiento.                             | 4           | @                                | @                        | @                     |

En la tabla 10. Se muestra la evaluación de la satisfacción de las necesidades planteadas por el cliente, usuario y las de diseño por parte de los competidores escogidos por el grupo, cabe anotar que dichos competidores fueron escogidos teniendo en cuenta su posición en el mercado a cual queremos ingresar y la calidad de su producto. Para ello se asignó el siguiente rango de valores de satisfacción: @Cumple © Medio Cumple ® No Cumple

#### 4.6 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES

Tabla 11. Especificaciones preliminares

| #  | Métrica                                   | Unidades         | Valores Marginales | Valores Ideales |
|----|---|------------------|--------------------|-----------------|
| 1  | Peso.                                     | Kg.              | ----               | -----           |
| 2  | Facilidad de instalación y mantenimiento. | (Sub)            | Buena              | Excelent        |
| 3  | Ergonomía.                                | (Sub)            | Buena              | Excelent        |
| 4  | Control y mando                           | tiempo respuesta | Buena              | Excelent        |
| 5  | Seguridad                                 | %                | 60%                | 80%             |
| 6  | Alimentación eléctrica                    | V                | 12V                | >12V            |
| 7  | Movimiento de rotación                    | GDL              | 1>3                | 3               |
| 8  | Facilidad de uso                          | (Bin)            | Si                 | Si              |
| 9  | Transmisión de datos                      | Kbyte/s          | ----               | ----            |
| 10 | Alcance                                   | Km.              | 2.5 -125           | 200             |
| 11 | Software                                  | (Sub)            | ----               | -----           |
| 12 | Angulo de rotación                        | Grados           | 180                | 360             |
| 13 | Diseño                                    | (Sub)            | Bueno              | Excelent        |
| 14 | Costos                                    | US \$            | 678                | 2000            |

En la tabla 11 es posible visualizar las especificaciones preliminares del dispositivo objeto de diseño, es decir, los valores o rangos en que el grupo de diseño espera ubicar el dispositivo. De acuerdo con el análisis realizado con anterioridad a las especificaciones individuales de los prototipos competidores.

## **5. GENERACION DE CONCEPTOS**

La generación de conceptos nos permite escoger el mejor diseño dentro de una gama de ideas y posibles soluciones al problema al que nos enfrentamos teniendo en cuenta una serie de factores que afectan el proceso de diseño.

Inicialmente se realizó una descomposición funcional que no es más que descomponer el problema en subproblemas más simples para analizar de acuerdo con el listado de necesidades, el planteamiento de la misión y algunas especificaciones preliminares.

- Clarificar el problema
- Buscar internamente
- Buscar externamente
- Explorar sistemáticamente
- Reflejar en la solución y el proceso

### **5.1 CLARIFICAR EL PROBLEMA**

Descripción del producto:

Mecanismo de sujeción de una video cámara con tres grados de libertad para un aeromodelo con comunicación inalámbrica.

Necesidades:

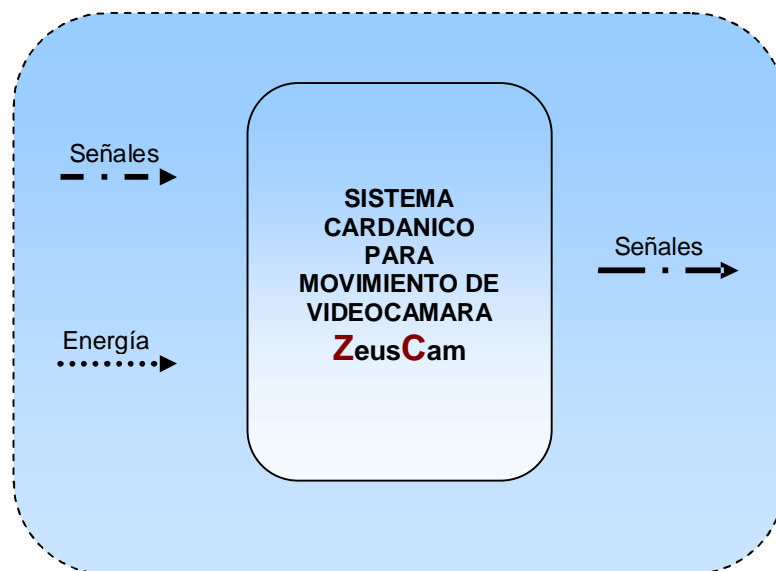
- Facilidad de uso
- Sistema en tiempo real
- Software intuitivo
- Estabilidad del mecanismo de sujeción
- Confiabilidad
- Seguridad
- Sistema se alimentara con 12V
- El mecanismo de soporte de la cámara tendrá 3GL
- El sistema será construido en materiales compuestos.

Especificaciones:

- Peso
- Ergonomía
- Alcance
- Grados de libertad
- Angulo de giro.

### 5.1.1 Caja Negra

Figura 1. Caja negra



En la caja negra se muestra de forma sistémica los elementos que conforman el sistema.

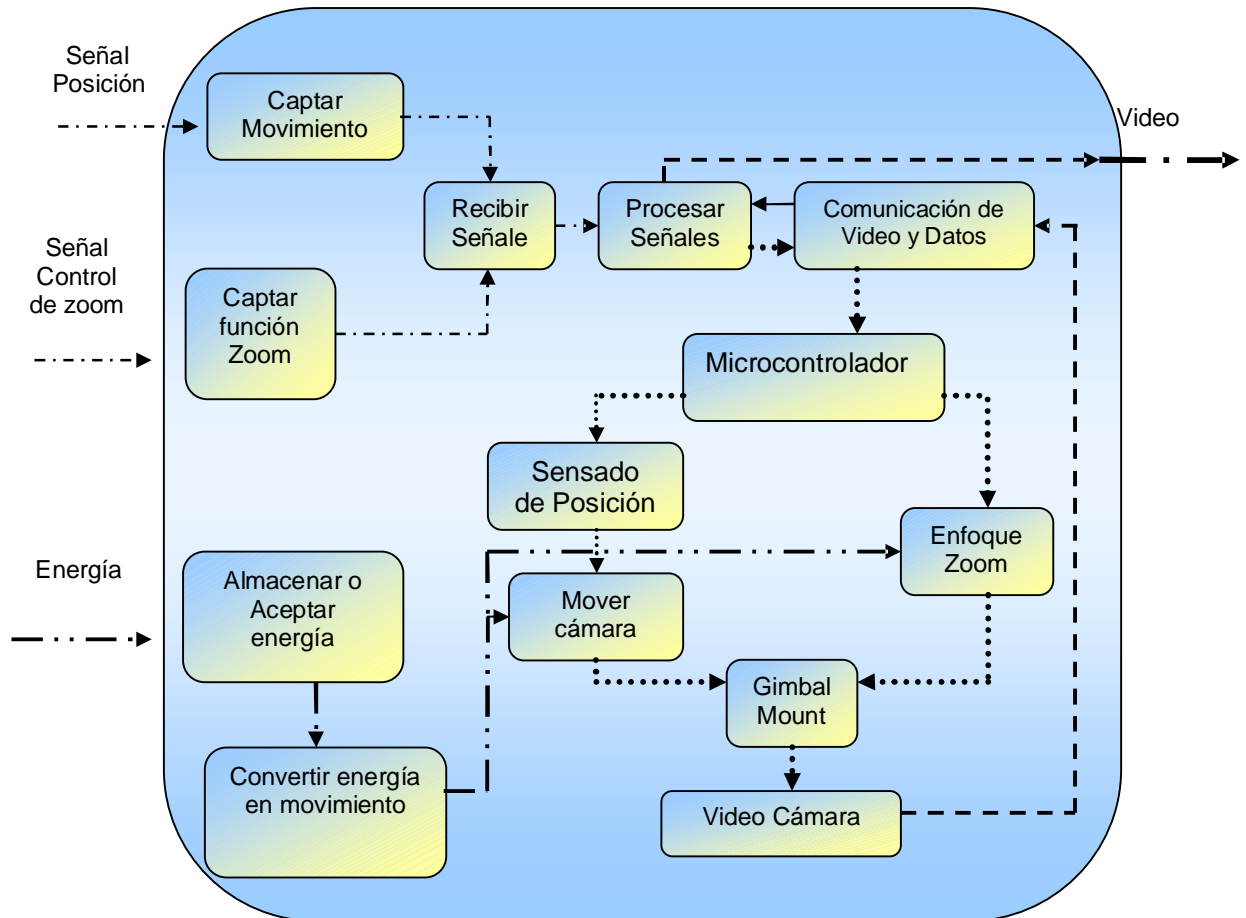
En la figura 1, Encontramos que a nuestro sistema le entran dos clases de datos:

- Señales entre las que encontramos dos clases: Señal de posición (Control de giro), Señal Control de zoom.
- Energía: Alimentación de los sistemas electrónicos.

Por último del sistema salen señales de video (Visión de la videocámara).

**5.1.2 Diagrama funcional;** La descomposición funcional no es más que subdividir la caja negra en subfunciones que describan más específicamente que tiene que hacer cada elemento del producto para implementar la función principal.

Figura 2. Descomposición funcional



En la figura 2. Se muestra la descomposición funcional de la caja negra de nuestro proyecto, donde se muestra cada interacción entre los diferentes elementos que la conforman.

**5.1.3 Descomposición de la ruta crítica;** Con la descomposición de la ruta crítica se pretende encontrar las zonas, funciones o subfunciones que para consideración del grupo de diseño son las mas complejas o difíciles de manipular a la hora del ensamble o que podrían afectar el buen funcionamiento del sistema cardánico.

**5.1.3.1 Subfunciones críticas de diseño;** Las siguientes Subfunciones son consideradas como las más críticas debido a que determinaran los procesos más importantes a criterio del grupo de diseño del desempeño físico del prototipo.

- **Almacenar y Aceptar energía**

Sistema encargado de tomar la energía y adaptarla o regularla a nuestras necesidades de diseño.

- **Convertir energía en movimiento**

Dispositivo encargado de imprimir los distintos tipos de movimiento.

- **Captar movimiento**

Dispositivo que transforma señales de movimiento físicas en señales digitales.

- **Captar función de zoom**

Dispositivo que transforma señales de mando en señales digitales.

- **Procesar señales**

Las señales recibidas de movimiento y mando son procesadas a través de un software para el movimiento de sistema cardánico “Gimbal Montt”.

- **Comunicación de Video y Datos**

Esta función fue considerada por el grupo de diseño como la más critica, ya que es la encargada enviar datos (posición y mando de zoom) y recibir video.

- **Microcontrolador**

Es el dispositivo que recibe la información de “Comunicación de video y Datos” y origina su posterior acción además de decodificar posibles protocolos de Comunicación.



- ***Gimbal Mount***

Es el mecanismo de sujeción de la cámara con tres grados de libertad, que deberá tener una excelente manufactura y un peso muy liviano.

## **5.2 BÚSQUEDA EXTERNA**

La búsqueda externa tiene como objetivo encontrar soluciones existentes tanto para el problema general, como para los subproblemas para lograr esto se incluye la evaluación del sistema cardánico no sólo en productos competitivos sino también en las tecnologías usadas en los subproblemas relacionados.

Para ello se realizaron entrevistas a ingenieros electrónicos, mecánicos y Mecatrónicos para indagar sobre las clases de sensores y mecanismos más óptimos para emplear en este tipo de sistemas. Internet fue un muy buen recurso para conocer otros dispositivos similares en distintas partes del mundo. Después de estas investigaciones encontramos distintas soluciones para nuestros problemas de diseño:

- Para solucionar el problema de tamaño y peso del sistema cardánico “Gimbal Mount” se piensa construir el sistema en materiales compuestos que son muy livianos y brindan la resistencia y durabilidad deseada.
- Para solucionar el problema de la estabilidad del mecanismo de sujeción se utilizara un giroscopio que hará que el movimiento del “Gimbal Mount” sea independiente del movimiento del aeromodelo.

## **5.3 BÚSQUEDA INTERNA**

En la búsqueda interna se busca un consenso en el grupo de los conceptos generados individualmente, para comunicar la información y refinar los conceptos.

El equipo de diseño mediante la generación de ideas y aportes tanto individuales como grupales realizó una generación de conceptos. Los conceptos fueron estudiados y analizados con base a los conocimientos prácticos y teóricos adquiridos y a través de la propia experiencia.

## **5.4 EXPLORACIÓN SISTEMÁTICA.**

En la exploración sistemática todos los fragmentos de conceptos generados en las etapas anteriores son explorados de una forma sistematizada.

### **Aceptar Energía**

- Batería
- Celdas solares

### **Convertir energía en movimiento**

- Actuadores
- Servomotores
- Motores DC
- Motores PAP

### **Recibir Señales Puertos**

- Paralelo
- Serial
- USB

### **Conexión de todos los dispositivos**

- Puertos del PC a utilizar
- Hub USB
- Hub Serial
- Hub Conexión

### **Captar Movimiento**

- Sensores en X, Y, Z
- Casco de RV
- Ultrasonido
- Control Remoto IR

### **Captar función de ZOOM**

- Control Remoto IR
- Guante de RV
- Sensores

### **Procesar Señales**

- PC
- Circuitos impresos

### **Comunicación de video y Datos**

- Transmisores Inalámbricos

### **Microcontrolador**

- Rabbit
- Z 80
- PIC
- Atmega

### **Sensado de Posición**

- Switch
- Giroscopio
- Foto resistencia
- Sensores

### **Mover Cámara**

- Sistema de Engranajes
- Sistema de cadenas
- Sistema de Piñón Correa dentada
- Bujes
- Actuadores
- Engrane buje
- Cadena Bujes

### Enfoque ZOOM

- Palanca
- Palanca de Desplazamiento
- Tornillo sin fin

### Gimbal Mount

- Giro Centro
- Giro Extremo

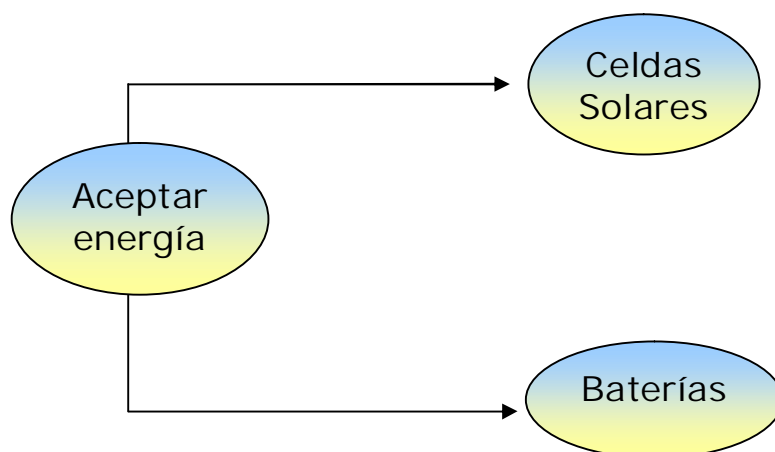
### Video Cámara

- Panasonic SDR-S100
- Panasonic MiniDV HDR-HC1
- JVC GZ-MC100
- Panasonic PV-GS150

**5.4.1 Árbol de clasificación de conceptos;** El árbol de clasificación de conceptos es un método de la exploración sistematizada para organizar y sintetizar los fragmentos de los conceptos generados.

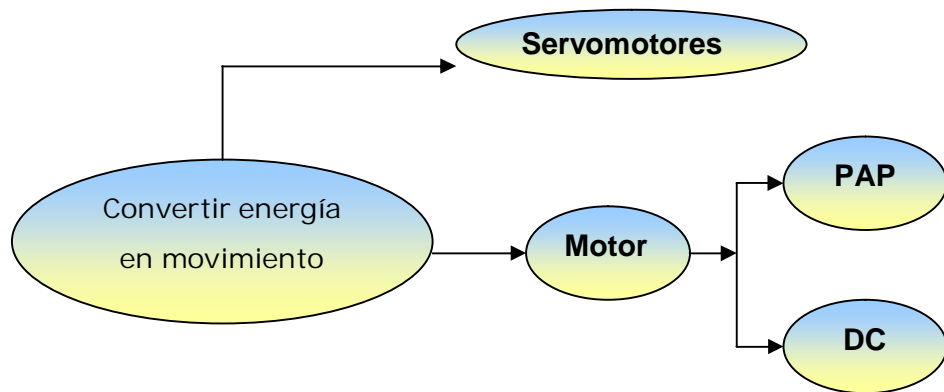
- **ACEPTAR ENERGÍA.**

Figura 3. Aceptar energía



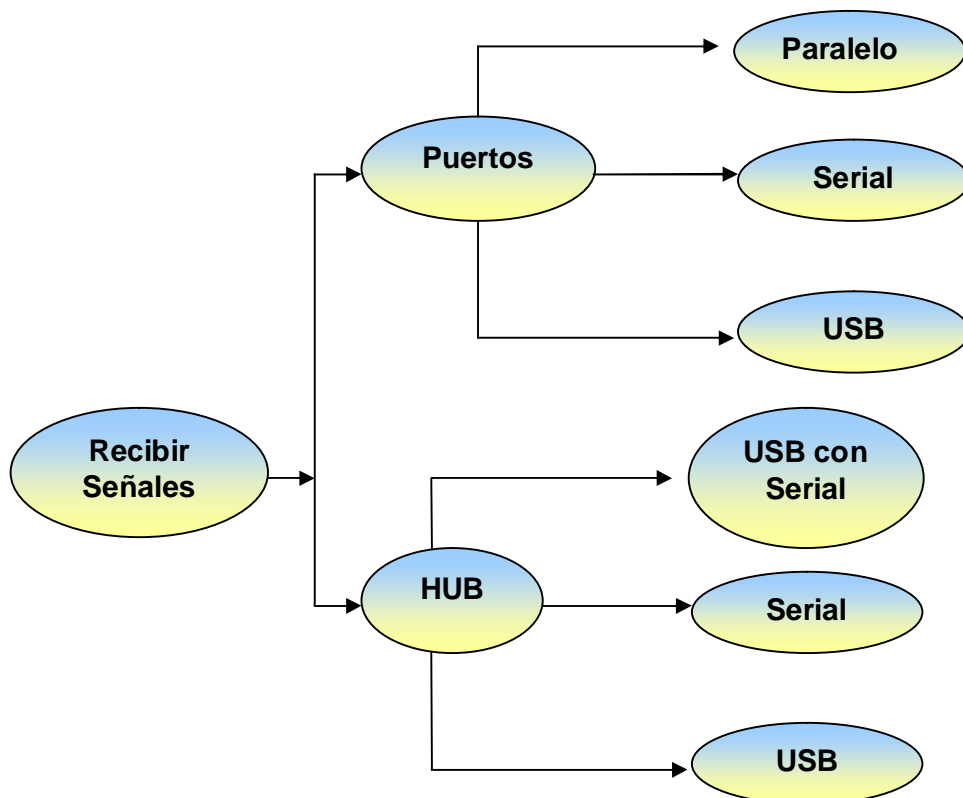
- **CONVERTIR ENERGÍA A MOVIMIENTO.**

Figura 4. Convertir energía en movimiento



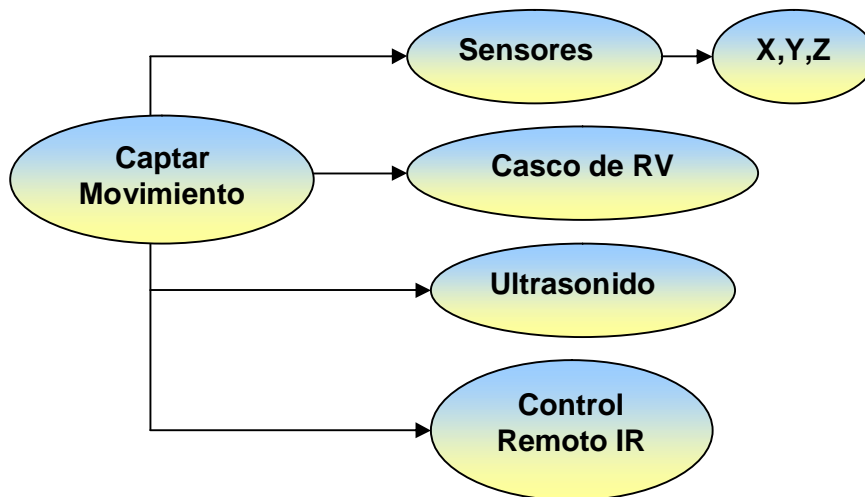
- **RECIBIR SEÑALES**

Figura 5. Recibir señales



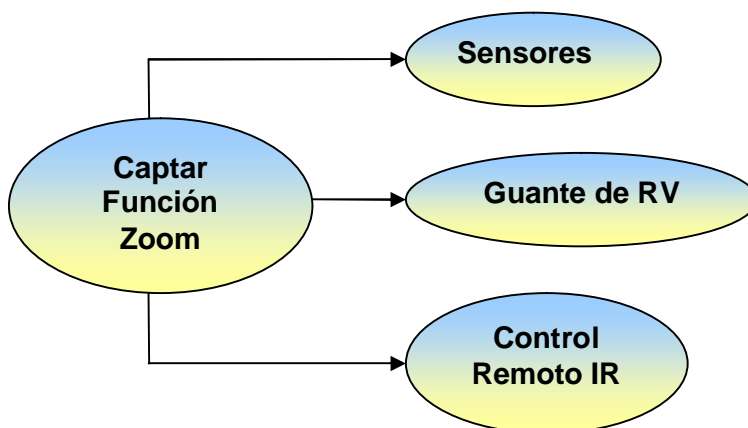
- **CAPTAR MOVIMIENTO**

Figura 6. Captar movimiento



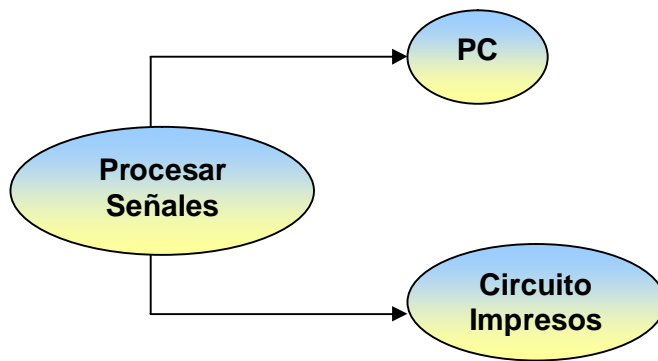
- **CAPTAR FUNCION DE ZOOM**

Figura 7. Captar función zoom



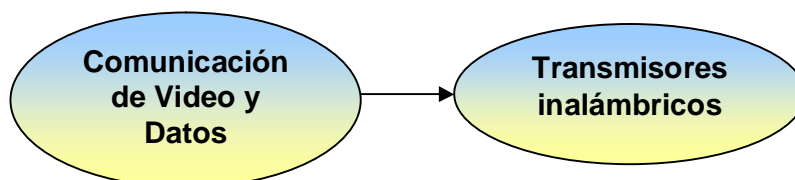
- **PROCESAR SEÑALES**

Figura 8. Procesar señales



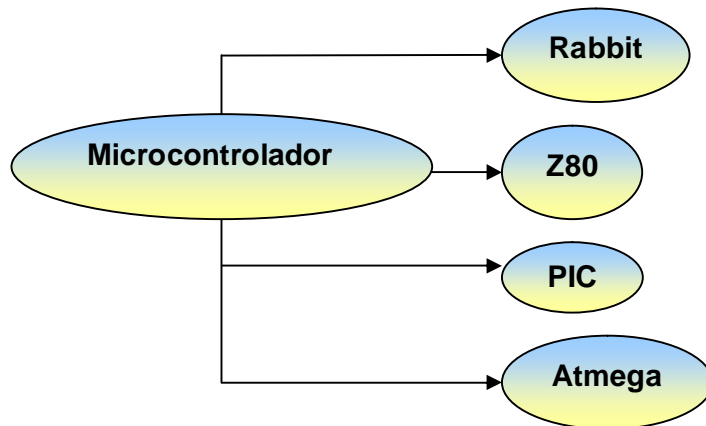
- **COMUNICACIÓN DE VIDEO Y DATOS**

Figura 9. Comunicación video y datos



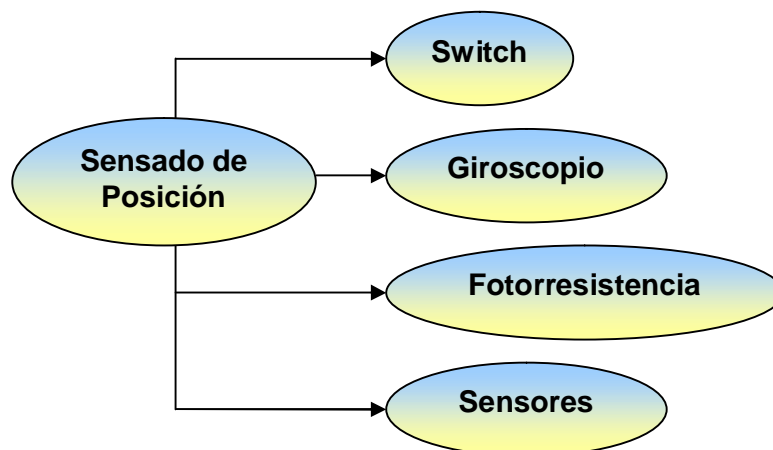
- **MICROCONTROLADOR**

Figura 10. Microcontrolador



- **SENSADO DE POSICION**
- 

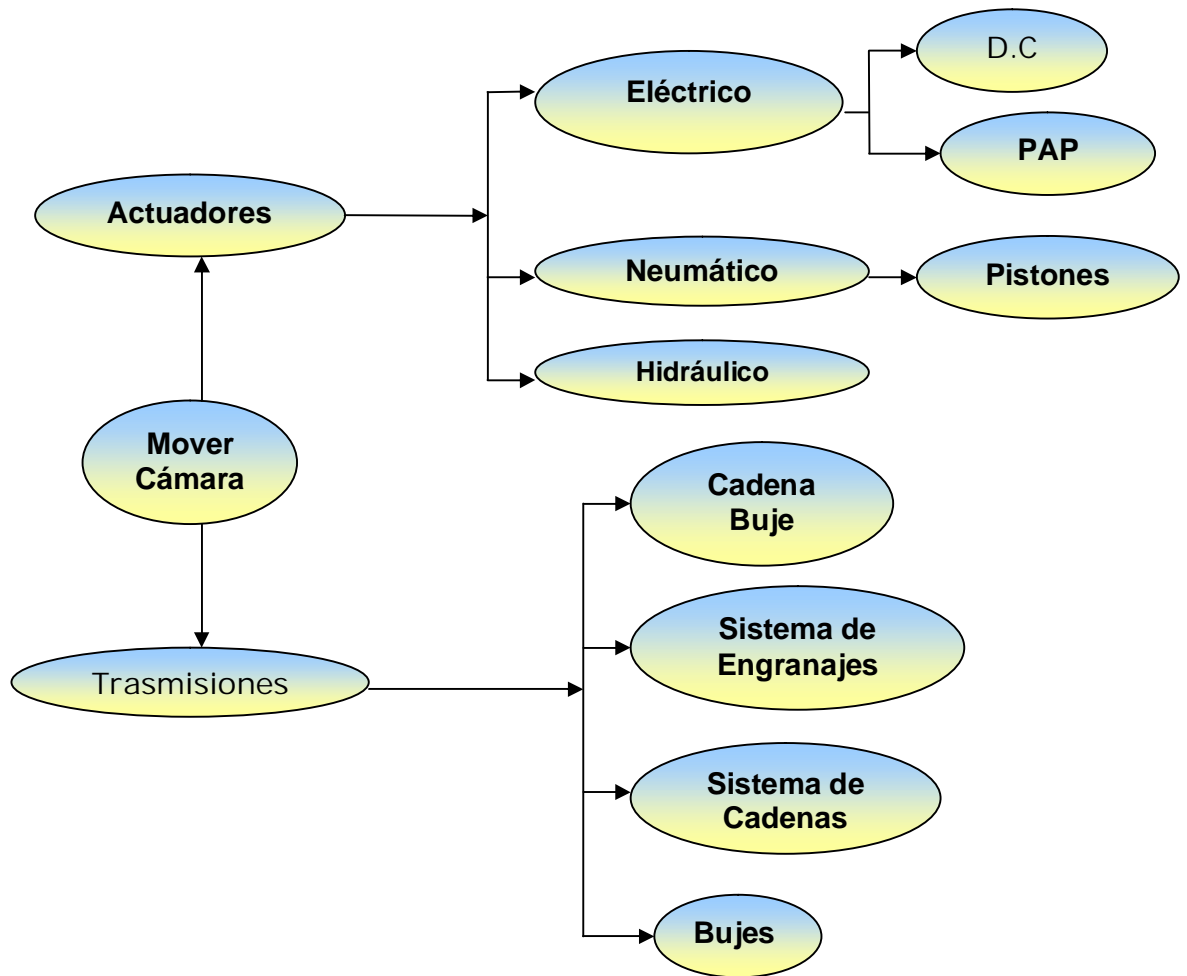
Figura 11. Sensado posición





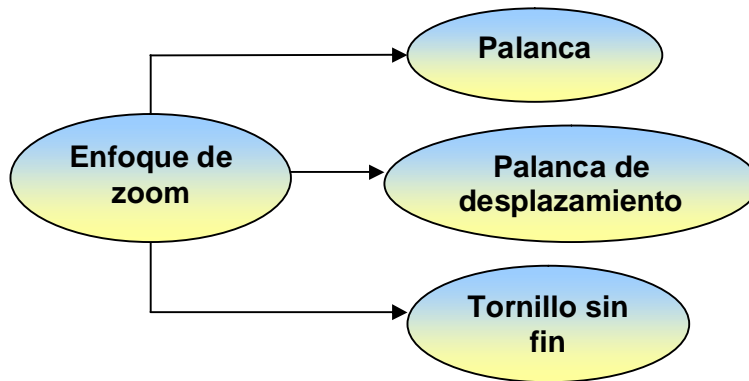
- **MOVER CAMARA**

Figura 12. Mover cámara



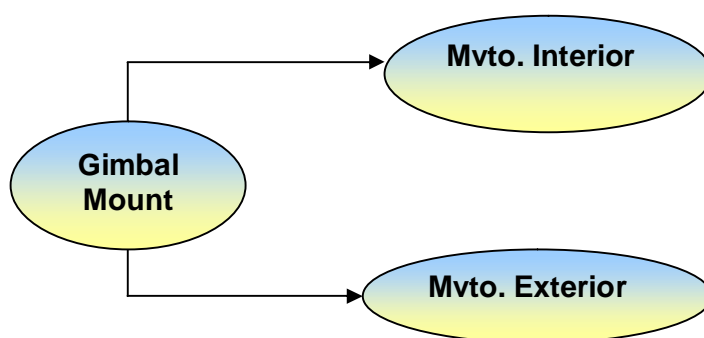
- **ENFOQUE ZOOM**

Figura 13. Enfoque zoom



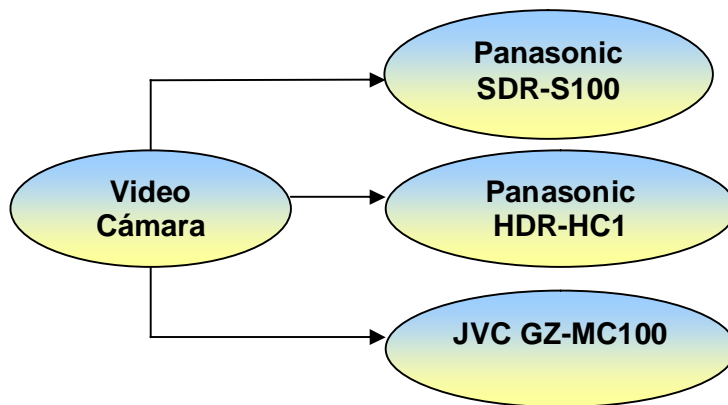
- **GIMBAL MOUNT**

Figura 14. Gimbal mount



- **VIDEO CAMARA**

Figura 15. Video Cámara

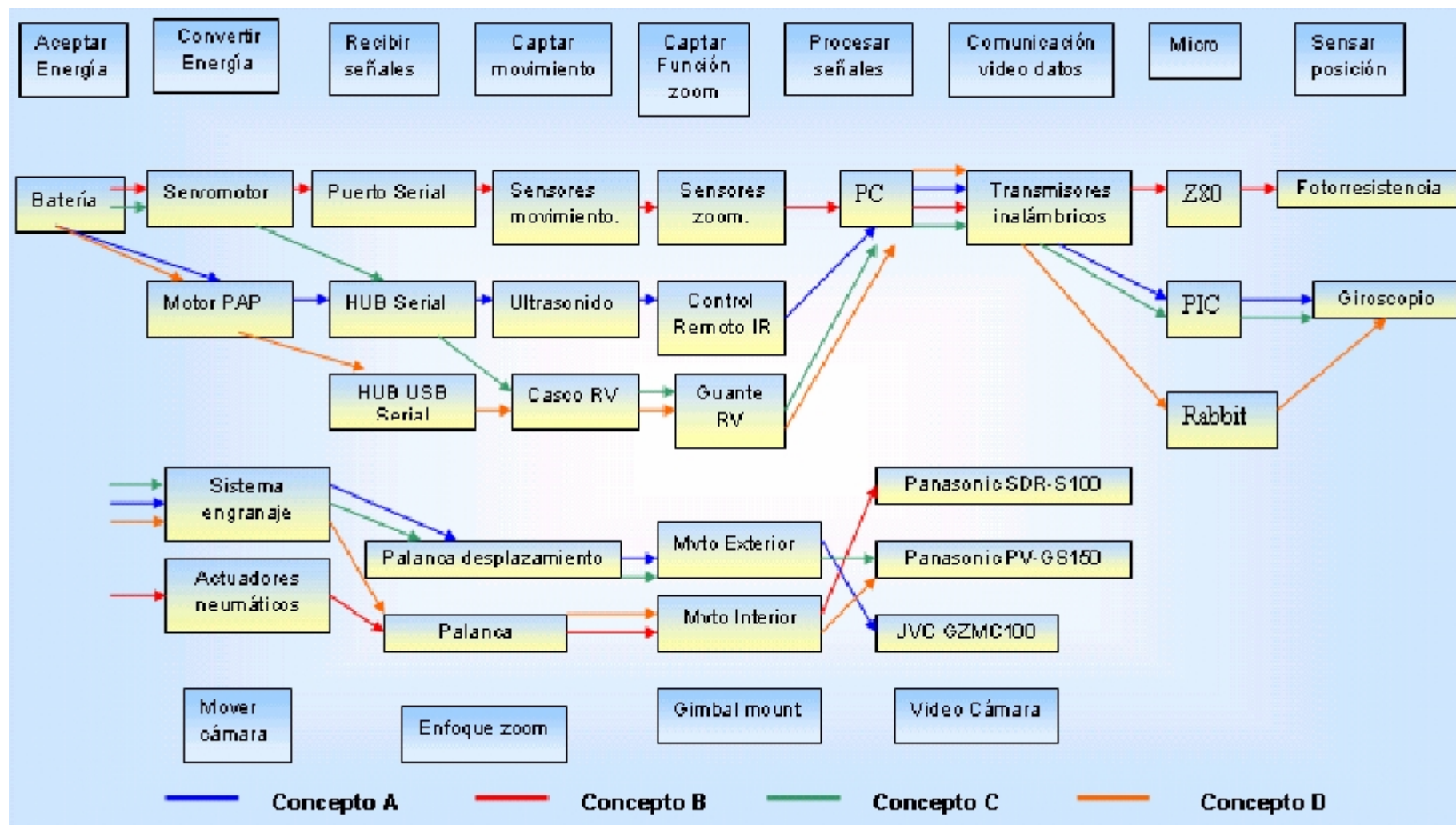


Todos los fragmentos de conceptos generados en las etapas anteriores deben ser explorados de una forma sistematizada

Por eso a continuación utilizaremos el segundo método de la exploración sistémica, La tabla de combinación de conceptos, Esta tabla permite identificar las posibles combinaciones de soluciones para las subfusiones y obtener una solución completa para el problema.

De ningún modo todas las combinaciones posibles son una solución al problema general o son realizables en la práctica, sólo estimula la búsqueda y nos brindan una idea de la mejor solución.

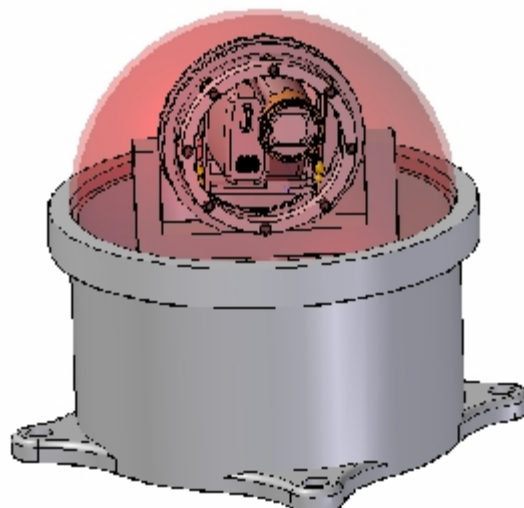
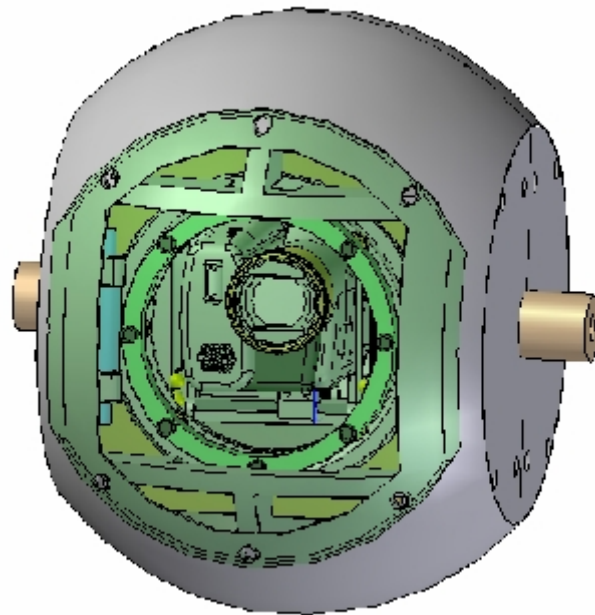
#### 5.4.2 Tabla de combinación de conceptos



### 5.4.3 Bosquejo de los conceptos

Figura 16. Prototipos

*Prototipo C*



*Prototipo BD*

## **6. SELECCIÓN DE CONCEPTOS**

### **6.1 MATRIZ DE TAMIZAJE**

La matriz de tamizaje nos ayuda a escoger el mejor concepto entre los generados, el que satisface ampliamente las necesidades planteada al inicio del proceso de diseño y además el más competitivo. Para realizar la matriz de tamizaje se tiene en cuenta:

- Establecer los criterios de selección, Seleccionar un concepto de referencia preferiblemente el más competente en el mercado.
- Establecer una ponderación de los criterios y calificar el concepto
- Asignarle una posición de acuerdo a su calificación
- Seleccionar el concepto con la mejor calificación y pensar en la combinación de los conceptos que lo siguen, eliminando las características malas y cambiando las buenas.

Tabla 12. Matriz de Tamizaje de conceptos

| <b>Criterios de selección</b>                        | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>REF</b> |
|--|----------|----------|----------|----------|------------|
| Facilidad de uso                                     | -        | -        | 0        | 0        | 0          |
| Sistema en tiempo real                               | -        | -        | +        | +        | 0          |
| Señales precisas                                     | -        | -        | 0        | 0        | 0          |
| Software intuitivo                                   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          |
| Estabilidad del mecanismo de sujeción                | -        | 0        | 0        | 0        | 0          |
| Confiabilidad  | -        | 0        | 0        | 0        | 0          |
| Seguridad  | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          |
| Sistema se alimentará con 12V                        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          |
| El mecanismo de soporte de la cámara tendrá 3GL      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          |
| El sistema será construido en materiales compuestos. | -        | +        | +        | -        | 0          |
| <b>Positivos</b>                                     | 0        | 1        | 2        | 1        |            |
| <b>Iguales</b>                                       | 4        | 6        | 8        | 8        |            |
| <b>Negativos</b>                                     | 5        | 3        | 0        | 1        |            |
| <b>Total</b>   | -5       | -2       | 2        | 0        |            |
| <b>Orden</b>   | 4        | 3        | 1        | 2        |            |
| <b>Continuar?</b>                                    | NO       | Com.     | SI       | Com.     |            |

En la tabla 12. Tomamos como referencia Shadow 200 TUAV para la calificación de cada concepto respecto a la referencia utilizamos (+) Mejor (0) igual y (-) Peor.

## 6.2 MATRIZ PARA EVALUAR CONCEPTOS.

En esta matriz evaluamos el concepto ganador en la matriz de tamizaje y/o los conceptos generados de la combinación de los demás para decidir finalmente el mejor que es el que se llevara a cabo.

Tabla 13. Matriz para evaluar conceptos

|   |                 | Conceptos        |      |           |      |
|---|-----------------|------------------|------|-----------|------|
|   |                 | C                |      | BD        |      |
| Criterios de selección                              | %               | NOTA             | C.P  | NOTA      | C.P  |
| Facilidad de uso                                    | 10%             | 4                | 0.4  | 3         | 0.3  |
| Sistema en tiempo real                              | 10%             | 3                | 0.3  | 3         | 0.3  |
| Señales precisas                                    | 15%             | 3                | 0.45 | 3         | 0.45 |
| Software intuitivo                                  | 5%              | 3                | 0.15 | 3         | 0.15 |
| Estabilidad del mecanismo de sujeción               | 10%             | 4                | 0.4  | 3         | 0.3  |
| Confiabilidad                                       | 5%              | 4                | 0.2  | 2         | 0.1  |
| Seguridad   | 5%              | 3                | 0.15 | 2         | 0.1  |
| Sistema se alimentara con 12V                       | 10%             | 4                | 0.4  | 4         | 0.4  |
| El mecanismo de soporte de la cámara tendrá 3GL     | 20%             | 4                | 0.8  | 3         | 0.6  |
| El sistema será construido en materiales compuestos | 10%             | 3                | 0.3  | 3         | 0.3  |
|   | <b>TOTAL</b>    | 3.55             |      | 3         |      |
|   | <b>ORDEN</b>    | 1                |      | 2         |      |
|   | <b>CONTINUA</b> | <b><u>SI</u></b> |      | <b>NO</b> |      |



### 6.3 ESPECIFICACIONES FINALES

Las especificaciones finales son los valores que tendrá el sistema al final de su diseño.

Tabla 14. Especificaciones finales

| #  | Métrica                                   | Unidades           | Valores Finales |
|----|---|--------------------|-----------------|
| 1  | Peso.                                     | Kg.                | -----           |
| 2  | Facilidad de instalación y mantenimiento. | (Sub)              | Excelent        |
| 3  | Ergonomía.                                | (Bin)              | Si              |
| 4  | Control y mando                           | (tiempo respuesta) | -----           |
| 5  | Seguridad                                 | %                  | 80              |
| 6  | Alimentación eléctrica                    | V                  | 12              |
| 7  | Movimiento de rotación                    | GDL                | 3               |
| 8  | Facilidad de uso                          | (Bin)              | Si              |
| 9  | Transmisión de datos                      | (Kbyte/s)          | -----           |
| 10 | Alcance                                   | Km.                | -----           |
| 11 | Software                                  | (Sub)              | Si              |
| 12 | Angulo de rotación                        | Grados             | 180             |
| 13 | Diseño                                    | (Sub)              | Excelent        |

## **7. DISEÑO A NIVEL DE SISTEMA**

Siendo el objetivo principal de este proceso, la obtención de un dispositivo con la capacidad de cumplir con las necesidades establecidas por el equipo de desarrollo, la realización de estas fases, permitirá considerar aspectos de vital importancia en lo que respecta a la concepción final del dispositivo en diferentes aspectos como son: diseño industrial, diseño para manufactura, para ensamble y prototipado.

### **7.1 ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO**

Para determinar el tipo de arquitectura que posee el dispositivo, se parte de la relación de los elementos físicos y los funcionales considerando los siguientes elementos.

Para la arquitectura modular.

- Los conjuntos implementan una o pocas funciones.
- La interacción de los conjuntos esta bien definida
- Ventajas de simplicidad en sus componentes.

Para la arquitectura integral

- Los elementos funcionales son implementados por varios conjuntos
- La interacción entre los conjuntos se encuentra pobremente definida
- Desempeño elevado y reducción de costos

Tabla 15. Relación de elementos físicos y funcionales

| ELEMENTOS FUNCIONALES |  | ELEMENTOS FISICOS |                        |
|-----------------------|--|-------------------|------------------------|
| #                     | Funciones                                  | Relaciona con:    | Elementos              |
| A                     | Transmisión de movimiento                  | A                 | Servomotores           |
| B                     | Seguridad                                  | H                 | Cámara                 |
| C                     | Sensado de posición                        | C,D,G             | Sensores               |
| D                     | Control                                    | A,F,G             | Rodamientos            |
| E                     | Acondicionamiento de señal                 | G                 | Circuitos              |
| F                     | Soporte estructural                        | I                 | Casco de RV            |
| G                     | Alineación de los elementos de transmisión | A,G               | Engranajes             |
| H                     | Toma de video                              | G                 | Caja de Rodamiento     |
| I                     | Iteración con el usuario                   | F,K               | Chumacera              |
| J                     | Proteger subsistemas                       | F,G               | Soporte sistema giro   |
| K                     | Ajuste al sistema                          | A                 | Tornillos sin fin      |
|                       |  | G,K               | Ejes                   |
|                       |  | J,F               | Soportes externos      |
|                       |  | F,A,B             | Freno                  |
|                       |  | A,B               | Barras movimientos X,Y |
|                       |  | K                 | Tuerca ajuste          |
|                       |  | J                 | Cubiertas              |

## 7.2 ARQUITECTURA A NIVEL DE SISTEMA, SUBSISTEMA Y COMPONENTES.

La selección de la arquitectura de sistema, subsistema y componentes se determina de acuerdo a los siguientes parámetros.

- Posibles cambios en el, o los elementos
- Permitir la variedad de los elementos
- Estandarización
- Desempeño
- Costo de manufactura
- Dirección del proyecto

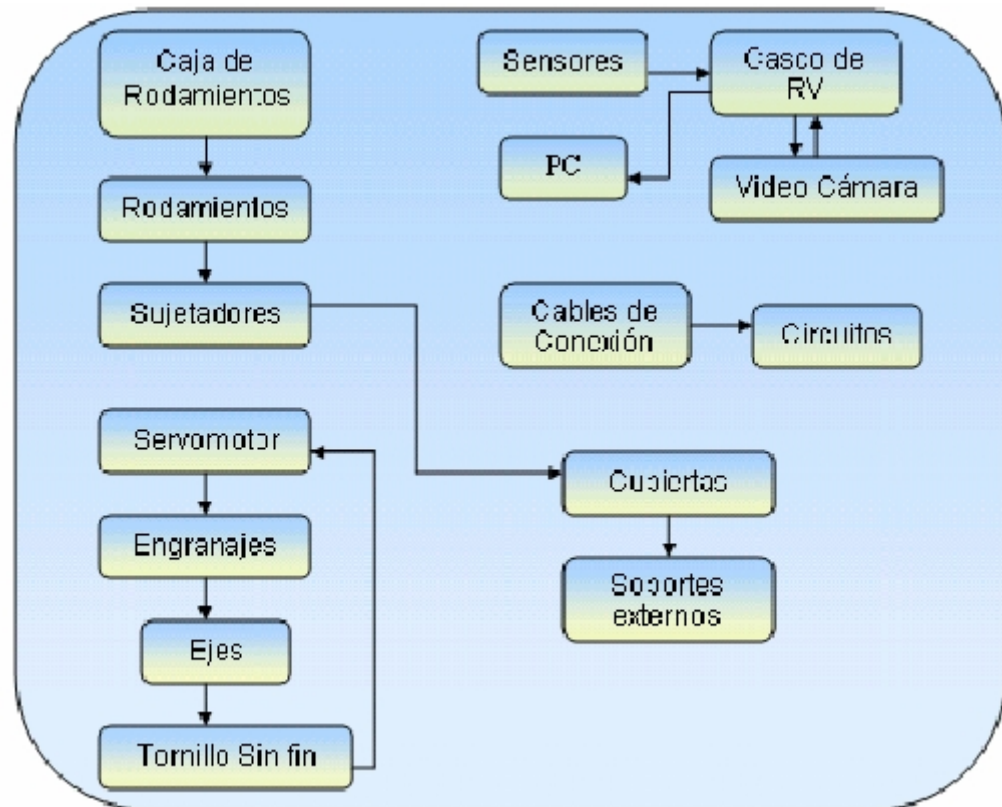
Tabla 16. Arquitectura a nivel de sistema subsistema y componentes.

| <b>Conjunto</b>              | <b>Tipo de Arquitectura</b> |
|------------------------------|-----------------------------|
| <b>Sistema cardánico</b>     | Modular                     |
| Mecanismo de alineación      | Integral                    |
| Sistema de detección         | Modular                     |
| Chasis                       | Integral                    |
| Acondicionamiento de señales | Modular                     |
| Mecanismo de transmisión     | Integral                    |
| Rodamiento                   | Modular                     |
| Caja Rodamiento              | Integral                    |
| Sujetadores                  | Modular                     |
| Circuitos                    | Integral                    |
| Cables de conexión           | Integral                    |
| Servo Motor                  | Integral                    |
| Video Cámara                 | Integral                    |
| Casco de RV                  | Integral                    |
| PC                           | Integral                    |
| Engranajes                   | Modular                     |
| Chumacera                    | Modular                     |
| Soporte sistema giro         | Integral                    |
| Tornillos sin fin            | Integral                    |
| Ejes                         | Modular                     |
| Soportes externos            | Modular                     |
| Freno                        | Integral                    |
| Barras movimientos X,Y       | Modular                     |
| Tuerca ajuste                | Modular                     |
| Cubiertas                    | Modular                     |

Considerando los factores establecidos para cada una de las arquitecturas definidas en la tabla 16 se ha definido la arquitectura del dispositivo en desarrollo determinando que esta será principalmente modular.

### 7.3 ESQUEMA DEL PRODUCTO

Figura 17. Esquema del producto

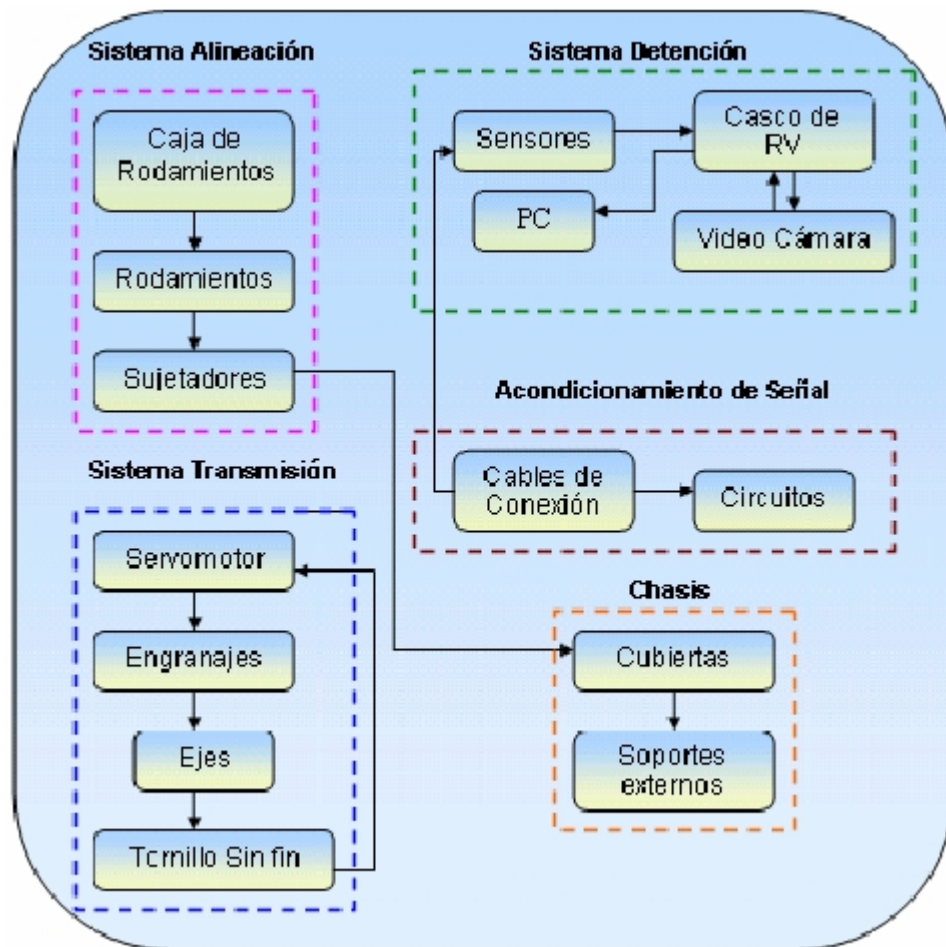


En la figura 17. Se observa como interactúan los diferentes elementos mas importantes que componen el dispositivo, estableciendo las interacciones fundamentales que se esperan suceda entre estos.

**7.3.1. Agrupación De Los Elementos En Chunks;** Para la realización de esta agrupación de elementos se tuvieron en cuenta Parámetros como:

- Integración geométrica
- Por funciones compartidas
- Similitudes en la tecnología de producción
- Posibilitar la estandarización
- Posibilitar las variantes en el producto

Figura 18. Agrupación de los elementos en chucks



Donde para la conformación de cada uno de las agrupaciones realizadas se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

**Mecanismo de alineación:** Los elementos contenidos en esta agrupación, proveen al mecanismo de capacidades de alineación y fijación, como es el caso de los sujetadores, dentro de los que se encuentran tornillos y elementos que ayudan a la fijación del mecanismo.

**Chasis:** Para este caso tiene la finalidad de dar soporte al mecanismo y permitir la integración geométrica de las partes.

**Sistema de transmisión:** La conformación de esta agrupación de elementos, obedece a la función compartida que tienen en cuanto a la actividad de permitir los tres movimientos del sistema cardánico.

**Sistema de detección:** En este conjunto la agrupación de los elementos se realiza teniendo en cuenta la estandarización y la función compartida, en cuanto a la detección de la variable posición que se desea cuantificar.

**Acondicionamiento de señales:** Los elementos contenidos en este chunk se agrupan considerando los posibles cambios que se puedan presentar, en cuanto a los protocolos de comunicación, como también la función compartida que prestan.

## 7.4 DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA

Permitió determinar si es posible la distribución de los conjuntos en un espacio dado y si es posible mejorar la distribución o agrupar de forma diferente los mismos. A continuación veremos la imagen exterior e interior del sistema diseñado, en el que se puede observar la distribución de los diferentes elementos que lo componen.

Figura 19. Vista exterior del sistema

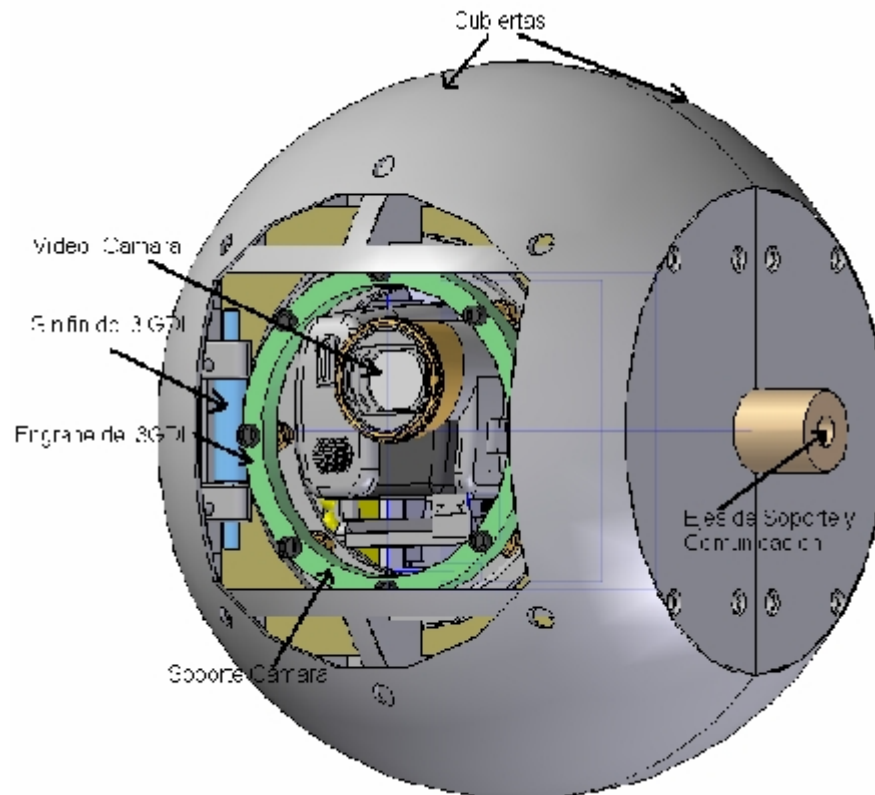


Figura 20. Vista interior del sistema

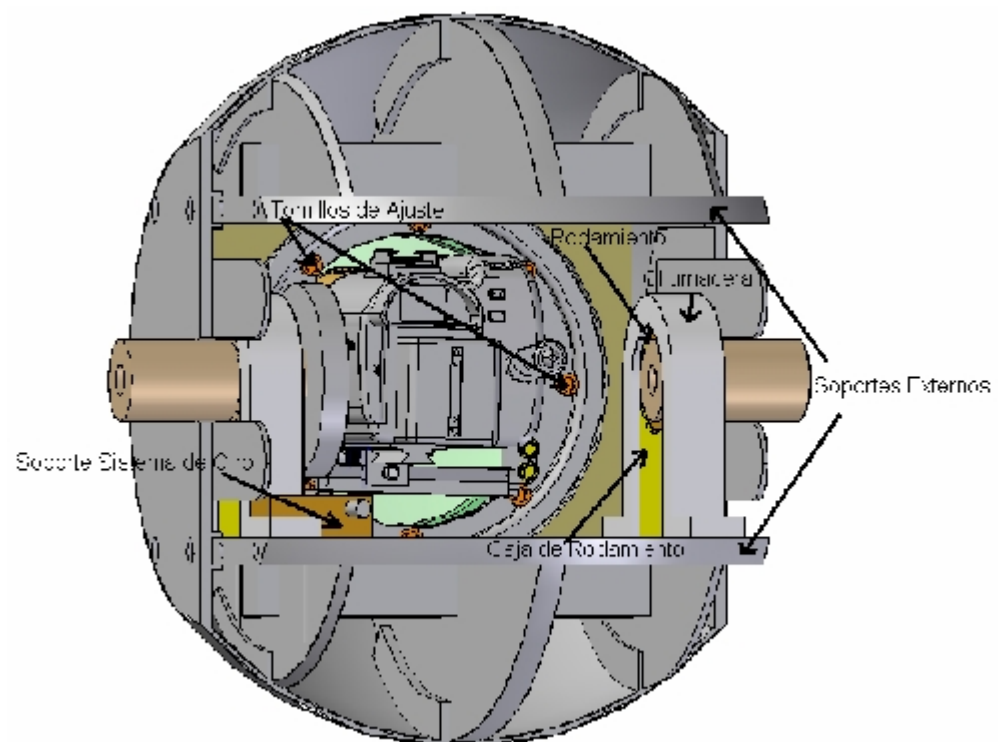


Figura 21. Sistema de giro video cámara

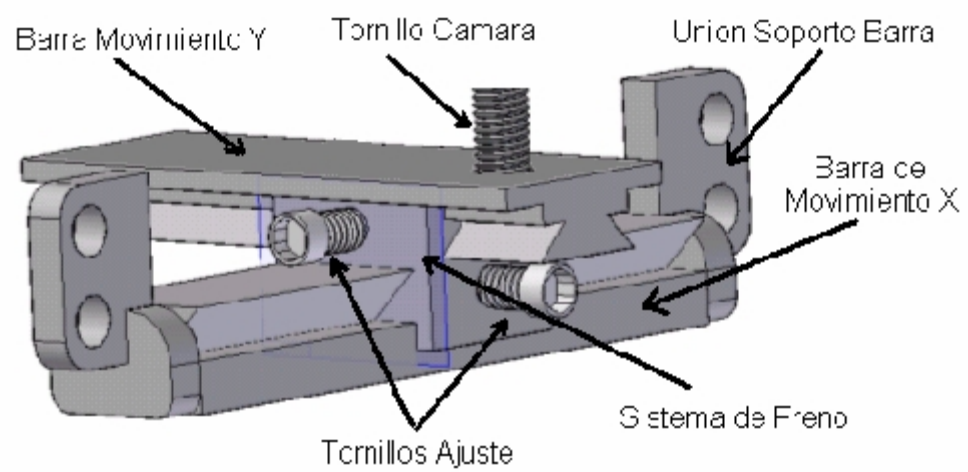
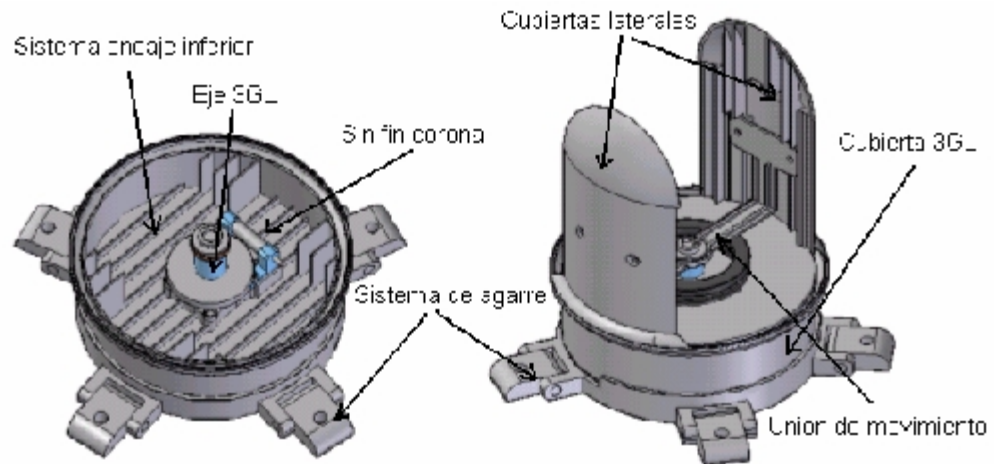




Figura 22. Sistema de giro para 3GL video Cámara

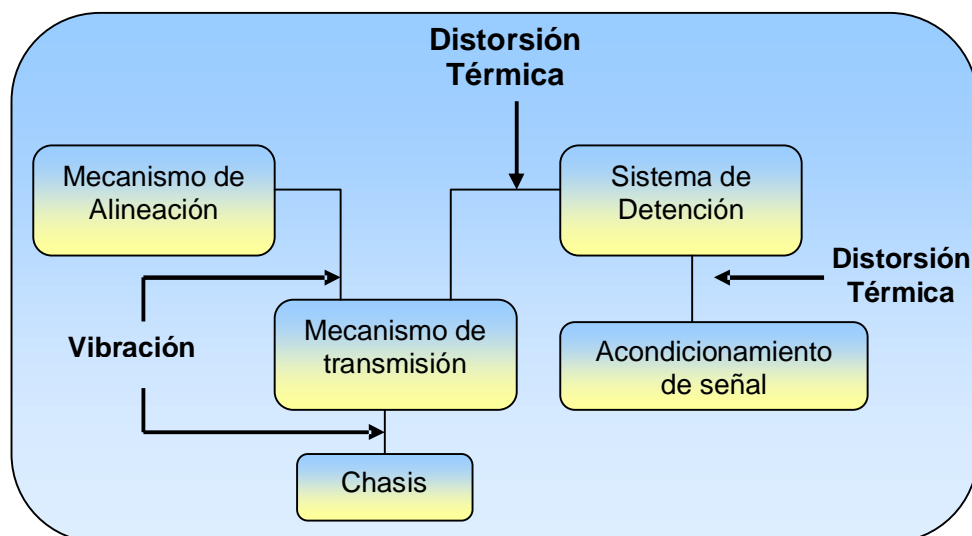


## 7.5 INTERACCIONES INCIDENTALES

Considerando inicialmente las interacciones fundamentales como son todas aquellas que se encuentran planificadas y se espera sucedan como parte del funcionamiento del equipo.

En sentido contrario las interacciones incidentales son todas aquellas inherentes al funcionamiento de cualquier equipo mecánico o electrónico, y que afectan de manera negativa el desempeño del equipo.

Figura 23. Interacciones incidentales entre sistemas



Para el prototipo se presentaron las siguientes interacciones incidentales:

- Vibración → Es ocasionada por los motores afectando el buen movimiento del sistema.
- Interferencia térmica → Ocasionada por los sistemas que generan calor como lo es sistema electrónico afectando el buen funcionamiento del sistema en general.

## 8. DISEÑO INDUSTRIAL

### 8.1. VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL

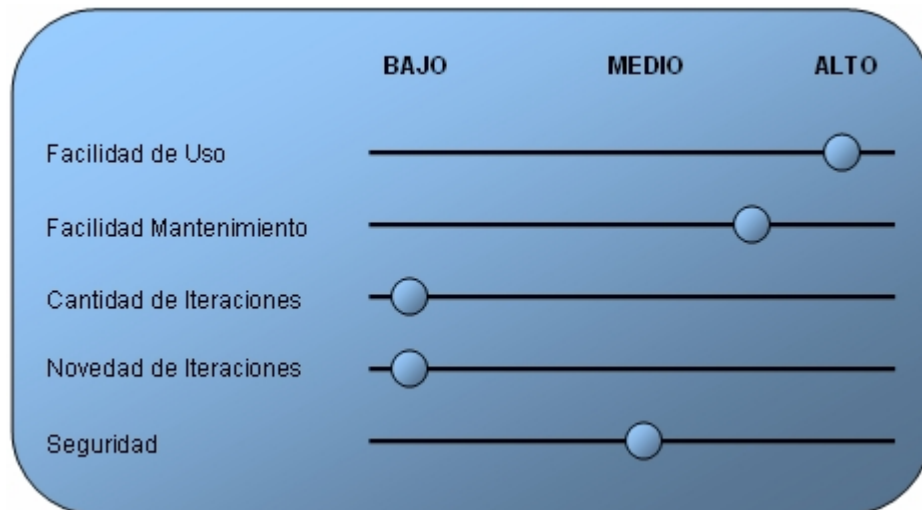
Para realizar la valoración del diseño industrial en el desarrollo del producto, se deben tener en cuenta básicamente dos elementos fundamentales:

- § Necesidades estéticas
- § Necesidades ergonómicas

Considerando los elementos primordiales para realizar la valoración y evaluación de las necesidades planteadas para el dispositivo en desarrollo, el grado de importancia en el que son expresadas se encuentra en un rango de bajo, medio y alto en función de su relevancia dentro del proceso.

#### 8.1.1 Necesidades Ergonómicas

Figura 24. Valoración de las necesidades ergonómicas



Facilidad de Uso: La valoración de este elemento es alta, ya que una de las necesidades a satisfacer dentro del desarrollo del producto es que el dispositivo posea una interfaz con el usuario de fácil manejo.

Facilidad de mantenimiento: Considerando que otra de las necesidades planteadas radica en la facilidad de ensamble y desensamble del dispositivo,

la valoración de esta se da en un rango medio alto, teniendo en cuenta que de esta no depende directamente el funcionamiento del equipo.

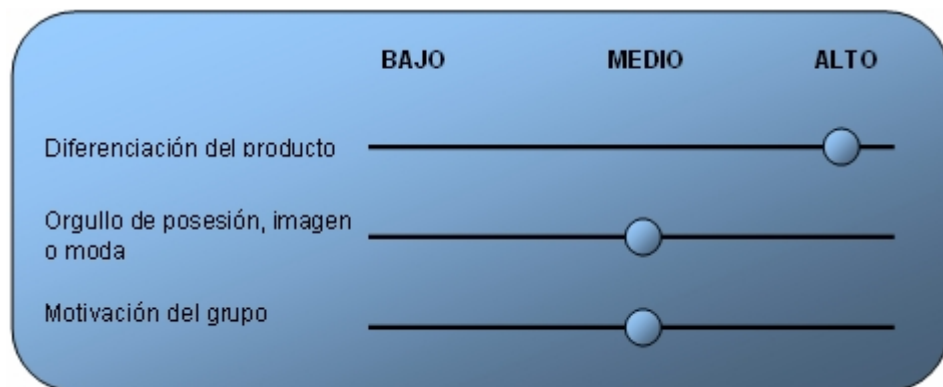
**Cantidad de interacciones:** Si bien al considerar la facilidad de uso en un rango alto, la cantidad de interacciones necesarias para el funcionamiento del dispositivo se ubican en un rango bajo, ya que el énfasis del equipo de diseño radica en la facilidad de manipulación del sistema.

**Novedad de las interacciones:** Observando las necesidades planteadas, la valoración de este elemento no forma parte de las consideraciones que deban deparar un esfuerzo de desarrollo, por esta razón se ubican en un punto bajo.

**Seguridad:** Al considerar este elemento y al encontrarlo incluido dentro de las necesidades a satisfacer, la valoración dentro del análisis lo ubica en un rango medio.

### 8.1.2 Necesidades Estéticas.

Figura 25. Valoración de las necesidades estéticas.



**Diferenciación del producto:** La valoración de este punto se da en un rango alto, aunque para el desarrollo del sistema cardánico se tomaron en cuenta modelos de Gimbal mount existentes en el mercado, solo se utilizaron para la concepción inicial y se busco mejorar las falencias encontradas buscando un diseño impactante y único.

Orgullo de posesión: Si bien de los objetivos planteados, en ninguno se encuentra generar un dispositivo que proyecte sobre el usuario un orgullo de posesión imagen o moda, se considera este elemento en un rango medio ya que para el grupo de diseño el grado de aceptación del dispositivo no solo depende de su facilidad de uso, sino también de la imagen que este proyecte.

Motivación de grupo: A pesar, que como el elemento anterior no se encuentra en la lista de necesidades a satisfacer, en cualquier proyecto la motivación de grupo es un parámetro que garantiza en cierta medida la concepción del dispositivo.

## 8.2 DOMINADO POR LA TECNOLOGÍA O POR EL USUARIO

Luego de haber realizado los análisis correspondientes a la valoración de las necesidades ergonómicas y estéticas del dispositivo, se planteo un aspecto adicional al DI (Diseño Industrial), al identificar si el producto que se encuentra en desarrollo se ve dominado por la tecnología o por el usuario.

Para nuestro caso este se encuentra **DOMINADO POR LA TECNOLOGÍA**, porque el dispositivo esta capacitado para realizar una labor técnica específica y Aunque el beneficio principal de este producto está basado en la tecnología, son también relevantes para el diseño su ergonomía y la estética del mismo.

Figura 26. Dominado por la tecnología o por el usuario.

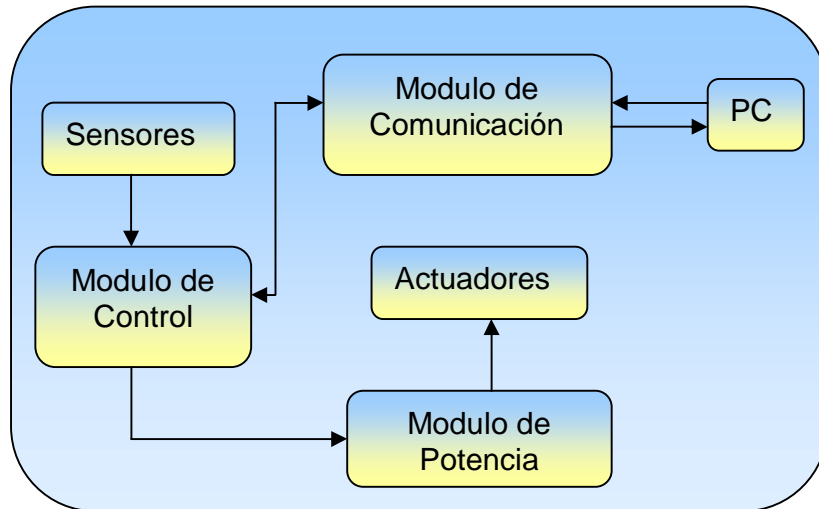


## 8.3 ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

Para el análisis de la arquitectura del sistema electrónico, se realizan módulos teniendo en cuenta los elementos típicos en cuanto a:

- Funciones compartidas
- Similitudes en la tecnología de producción
- Posibilidad de estandarización
- Posibilidad de variantes en el producto

Figura 27. Arquitectura del sistema electrónico



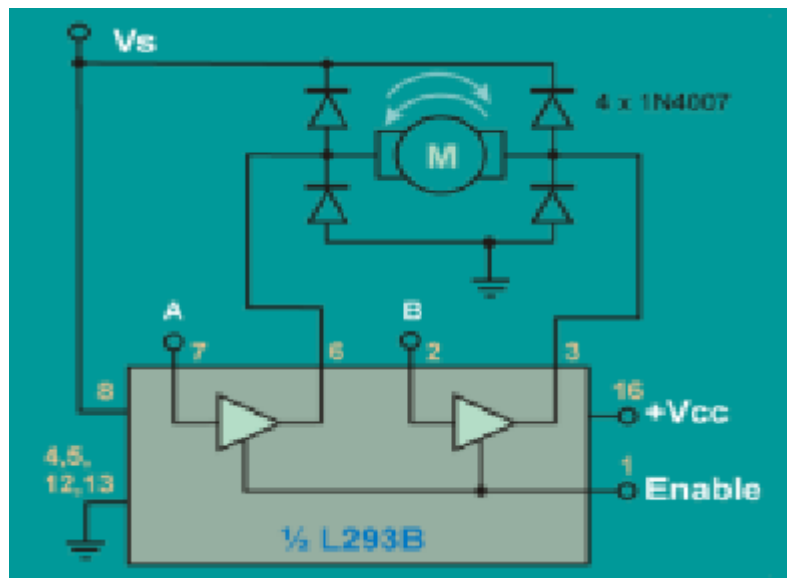
Módulo de comunicación: Para este módulo se requiere establecer la comunicación del sistema de control, sistema de detección y el PC, con la finalidad de transmitir los set point y la realimentación del sistema.

Módulo de Control: Debe poseer como características principales la posibilidad de procesamiento de las señales generadas por los sensores, así como también la captura de los datos generados por el PC. Permitiendo la salida de las señales correspondientes, para la ejecución de la actividad a través de los actuadores.

Módulo de potencia: En función de las características técnicas de los actuadores, los componentes de este modulo deben acondicionar las señales de control a los rangos de funcionamiento de los actuadores.

Actuadores: Dentro de los actuadores encontramos los servomotores los cuales serán los encargados de generar los tres movimientos del sistema cardánico, para lograr esto debemos realizar un control bidireccional, para permitir controlar el giro del motor tanto hacia delante como hacia atrás; dicho circuito lo podemos observar en el grafico 28.

Grafico 28. Control del giro de un motor con L293b



Para tener el control de dos direcciones o bidireccional se usan dos de drivers del L293b conectando sus salidas a los polos del motor, entonces podremos cambiar la polaridad de alimentación del motor con tan solo cambiar de estado las entradas de los drivers.

Por ejemplo, para que el motor gire hacia la derecha pondremos la entrada "A" a nivel alto "1" y "B" a nivel bajo "0" y para hacer girar el motor a la izquierda tendremos que invertir las señales de entrada de tal manera, la entrada "A" a nivel bajo "0" y "B" a nivel alto "1". Los diodos son como en el caso anterior para proteger el integrado de corrientes inversas.

**8.3.1 Selección del servomotor;** Para la selección de motores se realizó un estudio de varias clases de motores los cuales servirían como base para la escogencia del actuador que cumpla con todos los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto.

En este caso se escogieron los servomotores como los actuadores que cumplieran con todos los requisitos, además de reducir componentes como drivers reducen tiempo de programación, facilidad de instalación y costos.

## Servomotores de la Familia Futaba

*S5302 1/4 SCALE HI-SPEED*

Figura 29. Servomotor S5302



### ESPECIFICACIONES:

Control System: +Pulse Width Control 1520usec Neutral

Required Pulse: 3-5 Volt Peak to Peak Square Wave

Operating Voltage: 4.8-6.0 Volts

Operating Temperature Range: -20 to +60 Degree C

Operating Speed (4.8V): 0.19sec/60 degrees at no load

Operating Speed (6.0V): 0.15sec/60 degrees at no load

Direction: Counter Clockwise/Pulse Traveling 1520-1900usec

Motor Type: 5-Pole Motor

Potentiometer Drive: Indirect Drive

Bearing Type: Dual Ball Bearing

Gear Type: All Metal Gears

Connector Wire Length: 12"

Dimensions: 2.4" x 1.2"x 2.0" (61 x 30 x 51mm)

Weight: 4.4oz. (125g)



## S3102 MICRO MG

Figura 30. Servomotor S3102



### **ESPECIFICACIONES:**

Control System: +Pulse Width Control 1520usec Neutral

Required Pulse: 3-5 Volt Peak to Peak Square Wave

Operating Voltage: 4.8 Volts

Operating Temperature Range: -20 to +60 Degree C

Operating Speed (6V): 0.20sec/60 degrees at no load

Stall Torque (4.8V): 64 oz/in. (4.6kg.cm)

Operating Angle: 45 Deg. one side pulse traveling 400usec

360 Modifiable: Yes

Direction: Counter Clockwise/Pulse Traveling 1520-1900usec

Motor Type: 3-Pole Motor

Potentiometer Drive: Indirect Drive

Bearing Type: Bronze Bearings

Gear Type: All Metal Gears

Connector Wire Length: 12"

Dimensions: 1.1" x 0.5"x 1.2" (28 x 13 x 30mm)

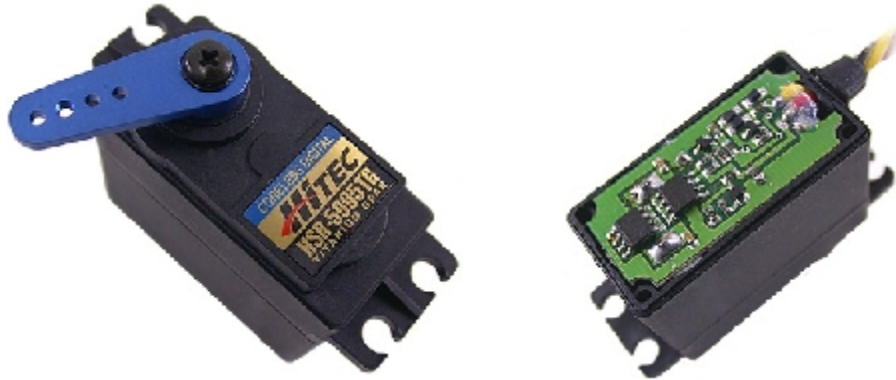
Weight: .7oz. (21g)

Se ha seleccionado para el movimiento del Zoom gracias a sus prestaciones de peso y tamaño respecto al torque indispensables para el diseño.

## Servomotores de la Familia Hi-Tech

### HSR-5995TG ULTRA TORQUE

Figura 31. Servo HSR-5995TG



#### ESPECIFICACIONES:

Control System: +Pulse Width Control 1500usec Neutral

Operating Voltage Range: 4.8-7.4 Volts

Operating Temperature Range: -20 to +60 Degree C (-68F to +140F)

Operating Speed (6.0V): 0.15sec/60 degrees at no load

Operating Speed (7.4V): 0.12sec/60 degrees at no load

Stall Torque (6.0V): 333.29oz/in. (24kg.cm)

Stall Torque (7.4V): 416.61oz/in. (30kg.cm)

Standing Torque (6.0V): 433.27oz/in. (31.2kg.cm) 5 degree deflection

Standing Torque (7.4V): 541.59oz/in. (39kg.cm) 5 degree deflection

Operating Angle: 90 Deg. one side pulse traveling 400usec

360 Modifiable: Yes

Potentiometer Drive: 6 Slider Indirect Drive

Dimensions: 1.57" x 0.78"x 1.45" (40 x 20 x 37mm)

Weight: 2.18oz (62g)

Este motor fue seleccionado por sus prestaciones de Torque Vs Tamaño y peso indispensables en el diseño, este se utilizara para cada uno de los tres grados de libertad ademas es de tener en cuenta como se explica anteriormente que su angulo de operación es modificable para un comportamiento continuo.

## 9. DISEÑO PARA MANUFACTURA

El diseño para la manufactura es una práctica de desarrollo que enfatiza en los aspectos de manufactura (Producción) a través de todo el proceso de desarrollo, por otro lado, es una filosofía encaminada a desarrollar un buen proceso durante todo el transcurso de la producción enfocado a los aspectos de manufactura y reducción de costos sin sacrificar la calidad final del producto.

El análisis del diseño para manufactura (DPM) se enfatizó en los costos tanto de los componentes estándar como propios, teniendo en cuenta que algunos de ellos deberán ser importados, como es el caso los servomotores, mientras que otros pueden ser adquiridos localmente con facilidad. También debe tenerse en cuenta que todos los componentes serán adquiridos, es decir, serán comprados por catálogo o encargados a fabricar con las especificaciones necesarias.

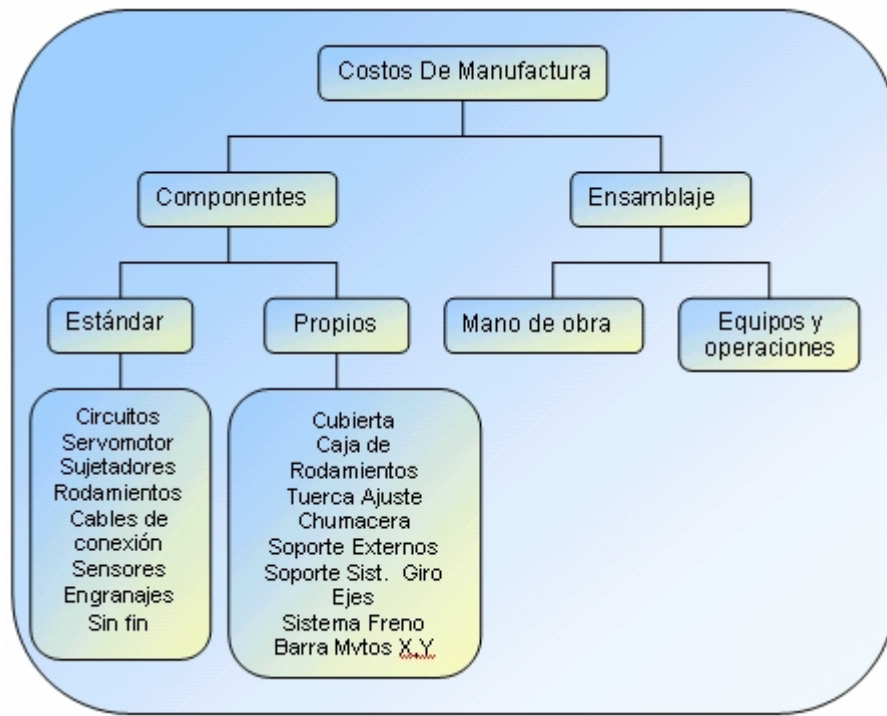
Al observar que el DPM es una práctica que se aplica en todo el proceso de desarrollo del producto, el análisis de este aspecto tan importante se ve reflejado en el diseño, permite evaluar elementos como son la estructura de costos y métodos para manufactura de los cuales dependerán las decisiones que se tomen, para la concepción del producto mas indicado. La forma como se aplica el DPM en el proceso de desarrollo se aprecia a continuación:

- En el desarrollo conceptual: Tomando en cuenta que el DPM brinda una visión de las posibilidades en los procesos de manufactura, con los que pueden llegar a ser generados los conceptos de esta etapa, la aplicación de este presenta una herramienta adicional, para la selección del concepto mas indicado a desarrollar, previendo aspectos como costos de manufactura, costos de los componentes y proveedores.
- En el diseño a nivel de sistema: En esta etapa, el DPM permite el análisis adecuado de la arquitectura del producto, con elementos que permiten la conformación de los Chunks basado en las similitudes en la tecnología de producción, en las funciones que desarrollan y en la estandarización de los componentes.
- En el diseño detallado: Considerando que los elementos tenidos en cuenta durante el desarrollo del proceso de diseño son implementados en esta fase, el impacto que sobre este tiene el DPM es notorio en cuanto a la generación de un dispositivo a los más bajos costos, con el mejor desempeño y la mejor calidad posible.

## 9.1 COSTOS DE MANUFACTURA

El costo de manufactura de un producto es un factor importante a considerar en el éxito económico de este. Un diseño exitoso económicamente debe considerar mantener altos índices de calidad y al mismo tiempo minimizar el costo de manufactura.

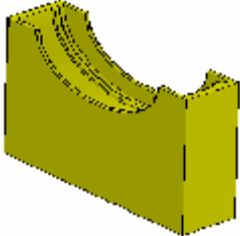
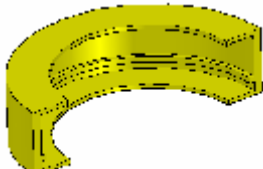
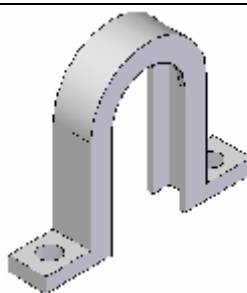
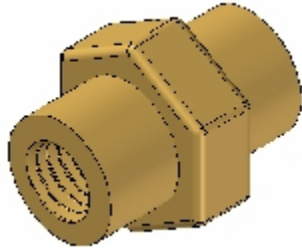
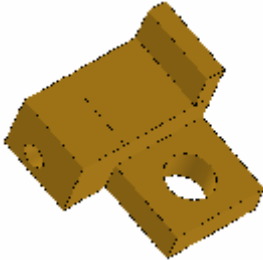
Figura 32. Costos de manufactura

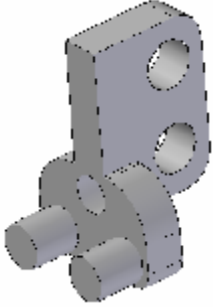
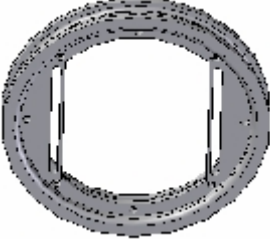
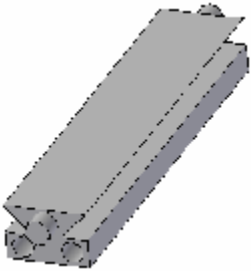
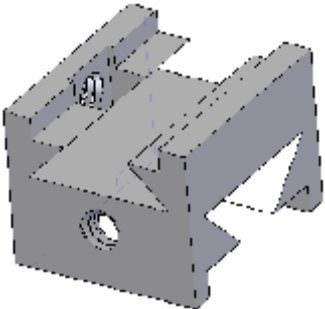
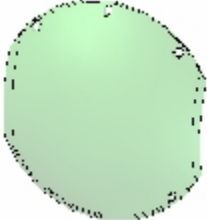



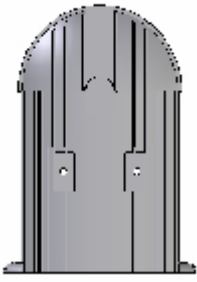
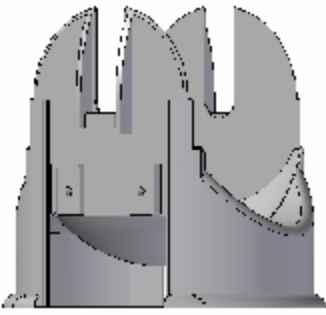
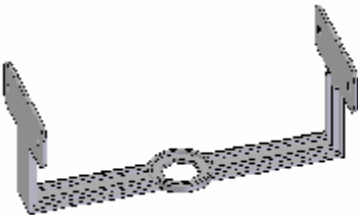
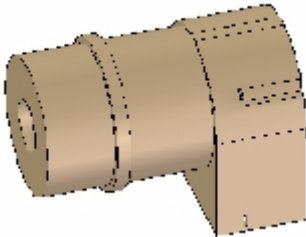
Al realizar un proyecto físico, cuando se adquieren los componentes, nos encontramos ante la necesidad de realizar procesos de manufactura, ya sea por que requerimos modificar los existentes ó sencillamente para reducir costos.

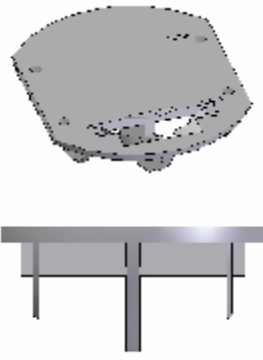
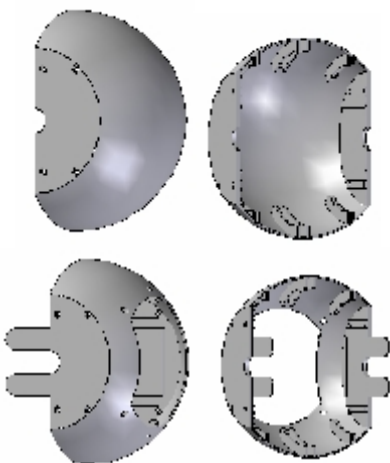
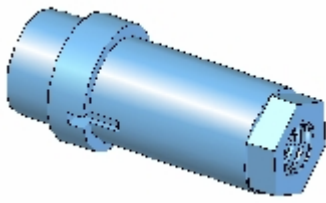
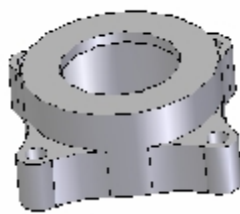
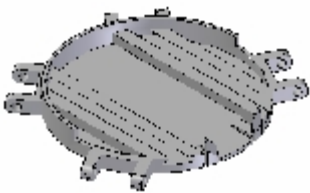
Por tal motivo en la tabla 17. Hacemos una relación tanto de las piezas más relevantes diseñadas propiamente por el grupo como el proceso de manufactura que se le realizo a cada una para hacerlas al igual que tipo de material utilizado.

Tabla 17. Manufactura realizada a componentes propios.

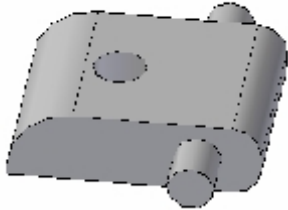


| PIEZA   | CANT. | MATERIAL | PROCESO DE MANUFACTURA                                      |
|---|-------|----------|---|
| <br>Parte inferior Caja Rodamiento | 2     | Nylon    | Corte, fresado exterior e interior y ranurado.              |
| <br>Parte superior Caja Rodamiento | 2     | Nylon    | Corte, fresado exterior e interior y ranurado.              |
| <br>Chumacera                     | 2     | Aluminio | Corte, fresado, taladrado y rasurado.                       |
| <br>Tuerca de ajuste             | 8     | Nylon    | Roscado interior, cilindrado exterior, refrentado, fresado. |
| <br>Soporte sistema de giro      | 2     | Nylon    | Fresado y taladrado   |

|  |   |                                 |   |
|--|---|---------------------------------|---|
|  <p>Unión soporte Barra</p>   | 2 | Aluminio                        | Molde fundición                               |
|  <p>Rueda soporte central</p> | 3 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Fresado y taladrado                           |
|  <p>Barra movimiento X,Y</p> | 2 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Fresado angular y recto taladrado.            |
|  <p>Sistema de freno</p>    | 1 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Fresado angular y recto, roscado y taladrado. |
|  <p>Visor</p>               | 1 | Acrílico                        | Corte, doblado al calor                       |

|   |   |                                 |                                    |
|---|---|---------------------------------|------------------------------------|
| <br><br>Cubiertas laterales | 2 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Inyección                          |
| <br>Cubierta central  | 1 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Inyección                          |
| <br>Unión de movimiento  | 1 | Aluminio                        | Fresado, ranurado<br>y taladrado   |
| <br>Buje cableado  | 2 | Nylon                           | Torneado, ranurado<br>y taladrado. |

|   |   |                                 |                               |
|---|---|---------------------------------|-------------------------------|
|  <p>Esqueleto soporte</p>              | 2 | Nylon                           | Fresado, ranurado, taladrado. |
|  <p>Cubiertas externas</p>            | 2 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Molde                         |
|  <p>Eje tercer grado de libertad</p> | 1 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Torneado, fresado, roscado    |
|  <p>Soporte inferior 3GL</p>         | 1 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Fresado, torneado taladrado   |
|  <p>Sistema encaje inferior</p>      | 1 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Ranurado, taladrado, fresado. |



|  |   |                                 |                        |
|--|---|---------------------------------|------------------------|
|  <p>Sistema de Agarre</p>   | 4 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Fresado y<br>taladrado |
|   <p>Cubierta para 3GL</p> | 1 | Polietileno<br><b>UHMW-1900</b> | Molde                  |

## 9.2. ANÁLISIS DE COSTOS

En esta etapa del diseño se hizo una lista de elementos estandares y propios necesarios para la realización del sistema cardánico, y luego se realizaron las respectivas cotizaciones de los productos en el mercado y así se comprobó que las piezas para la construcción del sistema cardánico son de fácil consecución en el mercado nacional.

Con el fin de llevar un control sobre el costo total del producto y conocer el número total de piezas ensambladas se realizó una lista de los materiales y/o piezas que se tienen que adquirir, así como su cantidad y precio de compra.

Para el análisis de estos datos se debe tener en cuenta que estos costos son los obtenidos en el mercado más próximo de manufactura (proveedores de la ciudad de Cali), además que son costos de componente por unidad los cuales tienen un costo muchísimo más alto que la producción y/o adquisición en serie.

Al observar la estructura de costos se obtienen estimados de lo que será el valor por componente tomando en cuenta el nivel de estandarización, la posibilidad de distribuidores, materia prima y mano de obra para obtener los elementos mas apropiados en la solución de las necesidades; de igual forma se obtiene un costo aproximado del sistema cardánico sin tener en cuenta algún posible aumento en los componentes por parte de los proveedores.

A continuación se muestra en la tabla 18. la lista de los componentes estándares con la cantidad necesaria de estos para la construcción del sistema cardánico, al igual que el costo por pieza y el costo total que tendrían los componentes estándares.

Tabla 18. Análisis de costos de componentes estándares.

| Componente         | Cantidad de piezas | Costo por pieza \$ | Total \$  |
|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| Servomotores       | 4                  | 285.000            | 1.140.000 |
| Sujetadores        | 40                 | 800                | 32.000    |
| Rodamientos        | 3                  | 75.000             | 225.000   |
| Cables de conexión | 40                 | 100                | 4.000     |
| Sensores           | 3                  | 320.000            | 960.000   |
| Engranajes         | 6                  | 22.000             | 132.000   |
| Tornillos sin fin  | 3                  | 50.000             | 150.000   |
| <b>Total</b>       |                    |                    | 2.643.000 |

### 9.3 DESCOMPOSICION DE LOS COSTOS DE COMPONENTES PROPIOS

§ Proceso de manufactura para parte inferior y superior caja de rodamiento.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (10min)



Fresado interno y externo de la pieza (30min)



Ranurado de la pieza (20min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (10min)

§ Proceso de manufactura para la chumacera.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (10min)



Fresado de la pieza (20min)



Taladrado de la pieza (10min)



Ranurado de la pieza (15min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (10min)

§ Proceso de manufactura para la tuerca de ajuste.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (15min)



Roscado interno de la pieza (20min)



Cilindrado externo de la pieza (20min)



Refrentado de la pieza (10min)



Fresado de la pieza (20min)



Refinamiento de la pieza (20min)



Inspección del proceso de la pieza (10min)

§ Proceso de manufactura para soporte sistema de giro.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (20min)



Taladrado del eslabón (10min)



Fresado de la pieza (10min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)

§ Proceso de manufactura para rueda soporte central.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (20min)



Taladrado del eslabón (10min)



Fresado de la pieza (10min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)

§ Procesos de Manufactura para barras movimientos X, Y.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (5min)



Fresado angular de la pieza (10min)



Taladrado de la pieza (5min)



Refinamiento de la pieza (5min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)

§ Procesos de Manufactura para el sistema de freno.



Alistar Material (15min)



Trazar medidas y corte de material (15min)



Fresado angular de la pieza (15min)



Fresado recto de la pieza (15min)



Roscado de la pieza (10min)



Taladrado de la pieza (5min)



Inspección del proceso de la pieza (10min)

§ Proceso de manufactura para visor.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (5min)



Doblado al calor de la pieza (20min)



Refinamiento de la pieza (5min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)

§ Proceso de manufactura para union movimiento.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (10min)



Fresado de la pieza (10min)



Ranurado interno de la pieza (10min)



Taladrado de la pieza (5min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)

§ Proceso de manufactura para buje cableado.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (20min)



Torneado de la pieza (20min)



Ranurado de la pieza (10min)



Taladrado de la pieza (5min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)

§ Proceso de manufactura para esqueleto soporte.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (20min)



Fresado de la pieza (20min)



Ranurado de la pieza (20min)



Taladrado de la pieza (10min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)

§ Proceso de manufactura para eje tercer grado de libertad.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (20min)



Torneado de la pieza (30min)



Fresado de la pieza (10min)



Roscado de la pieza (5min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)

§ Proceso de manufactura para soporte inferior 3GL.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (20min)



Torneado de la pieza (20min)



Fresado de la pieza (10min)



Taladrado de la pieza (5min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)



§ Proceso de manufactura para sistema encaje inferior.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (20min)



Fresado de la pieza (20min)



Ranurado de la pieza (30min)



Taladrado de la pieza (10min)



Refinamiento de la pieza (10min)



Inspección del proceso de la pieza (5min)

§ Proceso de manufactura para sistema agarre.



Alistar Material (5min)



Trazar medidas y corte de material (20min)



Fresado de la pieza (20min)



Taladrado de la pieza (5min)



Refinamiento de la pieza (10min)

Inspección del proceso de la pieza (5min)

#### 9.4 COSTO Y TOTAL TIEMPO PROCESO DE MANUFACTURA DE LOS COMPONENTES PROPIOS

Tabla 19. Costo y Total Tiempo Proceso de Manufactura De los Componentes Propios

| Proceso de Manufactura       | # Piezas | Tiempo Mano de Obra por pieza (min) | Costo Mano de Obra por pieza \$ | Total   |
|------------------------------|----------|-------------------------------------|---------------------------------|---------|
| Parte inf. caja rodamiento   | 1        | 85                                  | 19.125                          | 19.125  |
| Parte sup. Caja rodamiento   | 1        | 85                                  | 19.125                          | 19.125  |
| Chumacera                    | 2        | 80                                  | 18.000                          | 36.000  |
| Eje derecho                  | 1        | 70                                  | 15.750                          | 31.500  |
| Eje izquierdo                | 1        | 70                                  | 15.750                          | 31.500  |
| Tuerca ajuste                | 8        | 120                                 | 27.000                          | 216.000 |
| Soporte sistema giro         | 2        | 60                                  | 13.500                          | 27.000  |
| Unión soporte barra          | 2        | ----                                | ----                            | ----    |
| Rueda soporte central        | 3        | 60                                  | 13.500                          | 40.500  |
| Barra Mvto. X, Y, Z          | 3        | 35                                  | 7.875                           | 23.625  |
| Sistema de freno             | 1        | 85                                  | 19.125                          | 19.125  |
| Visor                        | 1        | 40                                  | 9.000                           | 9.000   |
| Cubiertas laterales, central | 3        | -----                               | -----                           | -----   |
| Unión movimiento             | 1        | 55                                  | 12.375                          | 12.375  |
| Buje cableado                | 2        | 75                                  | 16.875                          | 33.750  |
| Esqueleto soporte            | 2        | 90                                  | 20.250                          | 40.500  |
| Eje 3GL                      | 1        | 85                                  | 19.125                          | 19.125  |
| Soporte inferior 3GL         | 1        | 75                                  | 16.875                          | 16.875  |
| Sistema encaje inferior      | 1        | 100                                 | 22.500                          | 22.500  |
| Sistema agarre               | 4        | 65                                  | 14.625                          | 58.500  |
| <b>Total \$</b>              |          | <b>1.335</b>                        | <b>676.125</b>                  |         |

La duración del proceso de manufactura de cada componente se tomo de la tabla 19. y el costo de mano de obra se dedujo teniendo en cuenta un salario mínimo.

## 9.5 COSTO Y TIEMPO TOTAL ENSAMBLE

Tabla 20. Costo y tiempo total de ensamble del sistema cardánico

| Operación   | # Operarios | Tiempo mano obra (horas) | Costo ensamble hora | Total Ensamble \$ |
|---|-------------|--------------------------|---------------------|-------------------|
| Instalación eléctrica y electrónica                   | 1           | 2                        | 25.000              | 50.000            |
| Ensamble mecanismo matriz                             | 2           | 12                       | 25.000              | 600.000           |
| Ensamble Sistema de movimiento                        | 1           | 6                        | 15.000              | 90.000            |
| Ensamble e instalación de los sistemas de engranajes. | 2           | 4                        | 20.000              | 160.000           |
| Ensamble e instalación de sistemas de rodamiento.     | 2           | 4                        | 20.000              | 160.000           |
| Instalación sistemas de sujeción                      | 2           | 8                        | 20.000              | 320.000           |
| Instalación de sensores                               | 1           | 6                        | 35.000              | 210.000           |
| Instalación de cubiertas                              | 2           | 3                        | 15.000              | 90.000            |
| Prueba  | 1           | 2                        | 35.000              | 70.000            |
| <b>Total</b>  |             | <b>43</b>                |                     | <b>1.750.000</b>  |

Se realizó una estimación preliminar del tiempo de ensamble de cada “subsistema” y se calculó el costo que tendría el ensamble total del proyecto. Cabe anotar que como en el caso anterior, este costo se aminora cuando se habla de una producción en serie, en la cual encontramos herramientas y maquinarias que puedan ayudar a acelerar el proceso.

Se pretende reducir al máximo el tiempo y la dificultad de ensamblaje por lo cual se propone la disminución del número de piezas y de tornillos, y se procuran componentes auto-orientadas. Los Costos generales incluyen el aseguramiento de la calidad, mercadeo, orden y compra, envío, equipo de ensamblaje, mantenimiento, entre otros. Los precios de cada hora de trabajo se designo teniendo en cuenta el grado de complejidad de cada función asignada, pues en algunas ocasiones se solicita profesionales calificados y con experiencia mientras en otros no.

## **10. PROTOTIPADO**

Con el fin de realizar una aproximación mas real al producto, se diseñó un boceto flexible del concepto previamente seleccionado, este es un boceto analítico el cual representa al producto en una forma no tangible (simulación por computador en 3D con solid edge) para así facilitar el análisis de algunos aspectos de interés.

Para realizar el prototipado virtual utilizamos el programa Solid Edge el cual es una gran herramienta de trabajo en cualquier tipo de diseño, pues nos permite simular cada pieza y el conjunto dándole valores de propiedades físicas, mecánicas, tipo de material entre otros.

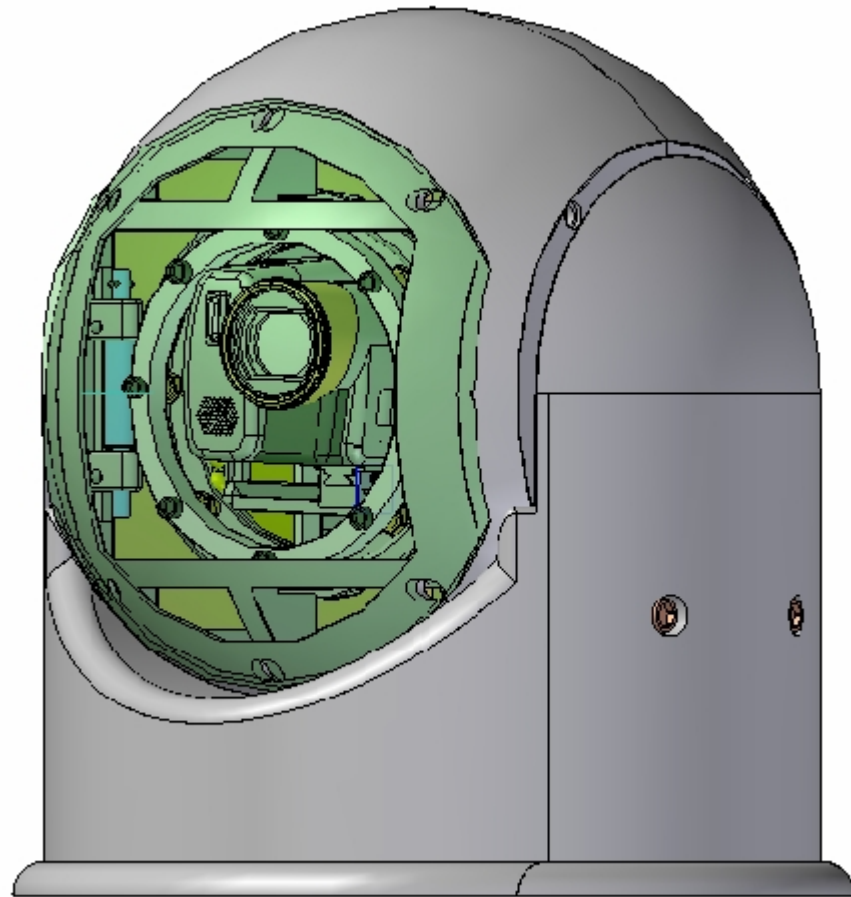
Una de las ventajas del prototipado virtual es que permite visualizar de modo más real un diseño dado en su forma y estilo, se pueden calcular algunas propiedades físicas como volumen y peso, lo cual permite estudiar interferencias geométricas entre partes previniendo posibles colisiones en el diseño, o interacciones incidentales entre subsistemas que puedan afectar el buen funcionamiento del sistema cardánico.

Se realizaron prototipos de los subsistemas mecánicos independientes con el fin de identificar si dichos sistemas funcionarán como están diseñados, en qué medida lo harán y que tanto suplirán los requerimientos.

Esta representación física sirvió como herramienta de demostración sobre la apariencia y el funcionamiento del producto.

Por último se construyo un prototipo que integra los sistemas mecánicos y los actuadores y su sistema de control, esto con la finalidad de comprobar que el dispositivo en conjunto funciona bien e identificar posibles problemas de compatibilidad o interferencia entre subsistemas.

Figura 33. Prototipo en solid edge

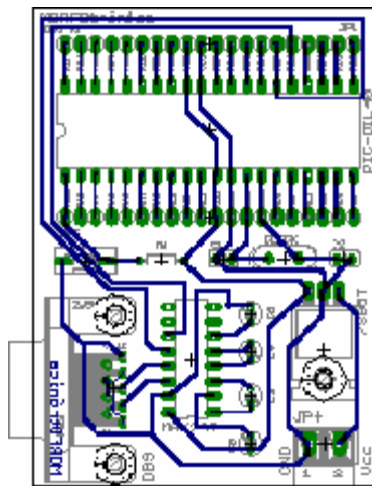


## 11. DISEÑO DETALLADO

### 11.1 DOCUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

El microcontrolador PIC16F877 de Microchip, cumple con las especificaciones establecidas anteriormente al realizar el Análisis de arquitectura del sistema electrónico, este cumple con la función de driver de los servomotores y a su vez esta en constante comunicación por medio del puerto serial con la Tarjeta de control principal.

Figura 34. PIC

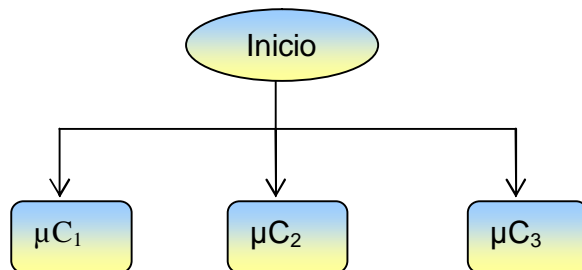


#### COMPONENTES:

R1: 100 ohmios  
C1,C2: 22 pF  
C3,C4,C5,C6: 1mF  
CLOCK: 20 Mhz  
CI 7805T  
CI MAX232  
PIC-DIL40: PIC16F877  
Base DIL16  
Base DIL40  
Conector para fuente AK505/2  
Conector Serial DB9 Hembra para CI  
Switch DS-01 o Pulsador NA  
JP1,JP2: Pines de una línea x20

### 11.1.1 Diagrama de bloques programación

Figura 35. Diagrama de bloques de la programación



#### CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO:

- Desarrollo de tareas distribuidas para obtener un procesamiento robusto.
- Gracias a la red I<sup>2</sup>C interna asegura una constante de circulación de los datos y su posterior actualización será sencilla.
- Programación para sectores lo que asegura una fácil programación.
- Logrando la interacción de todos los puntos ya mencionados garantizamos la confiabilidad del funcionamiento.

Figura 36. Diagrama de bloques de la programación  $\mu_1$

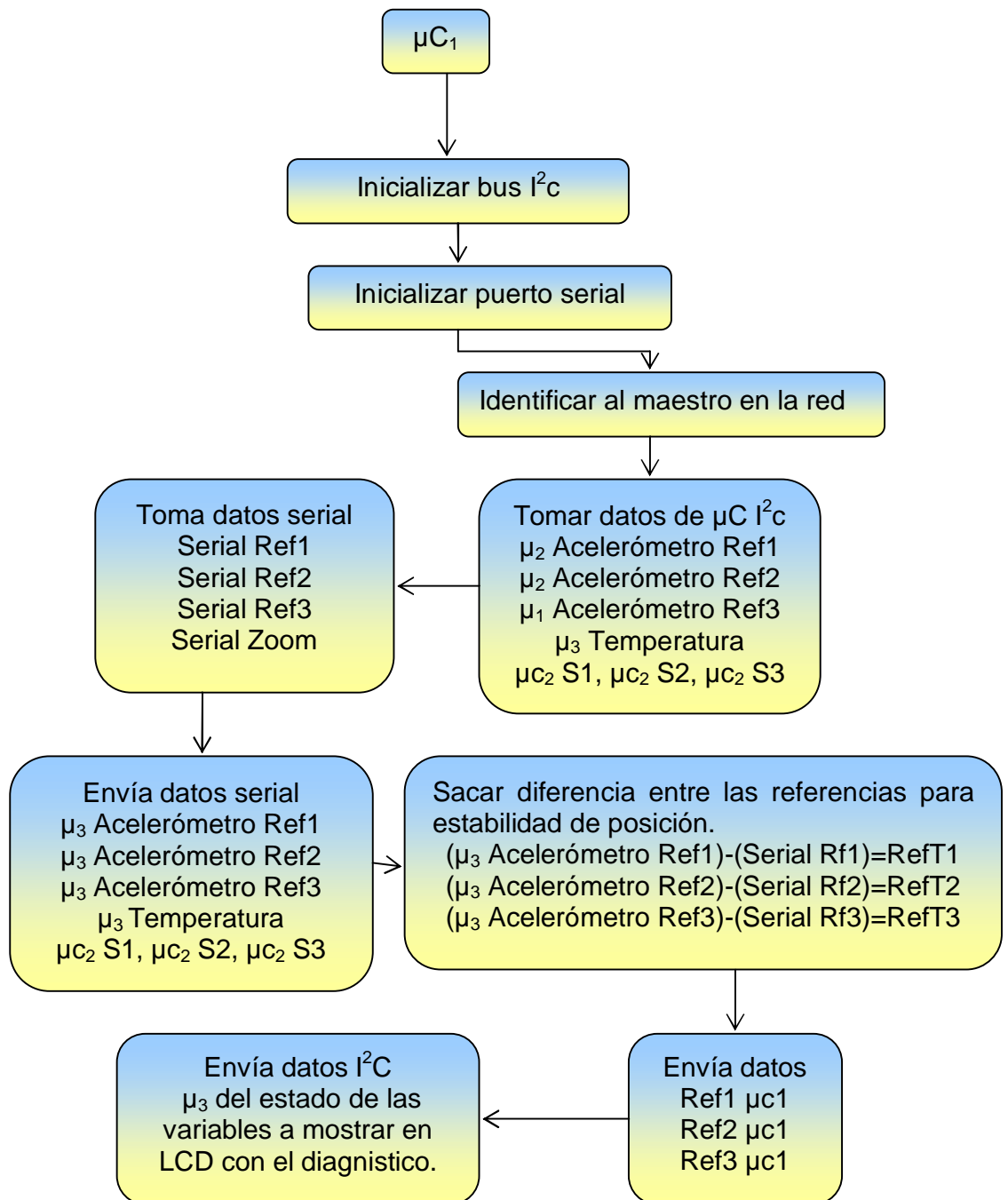




Figura 37. Diagrama de bloques de la programación  $\mu_2$

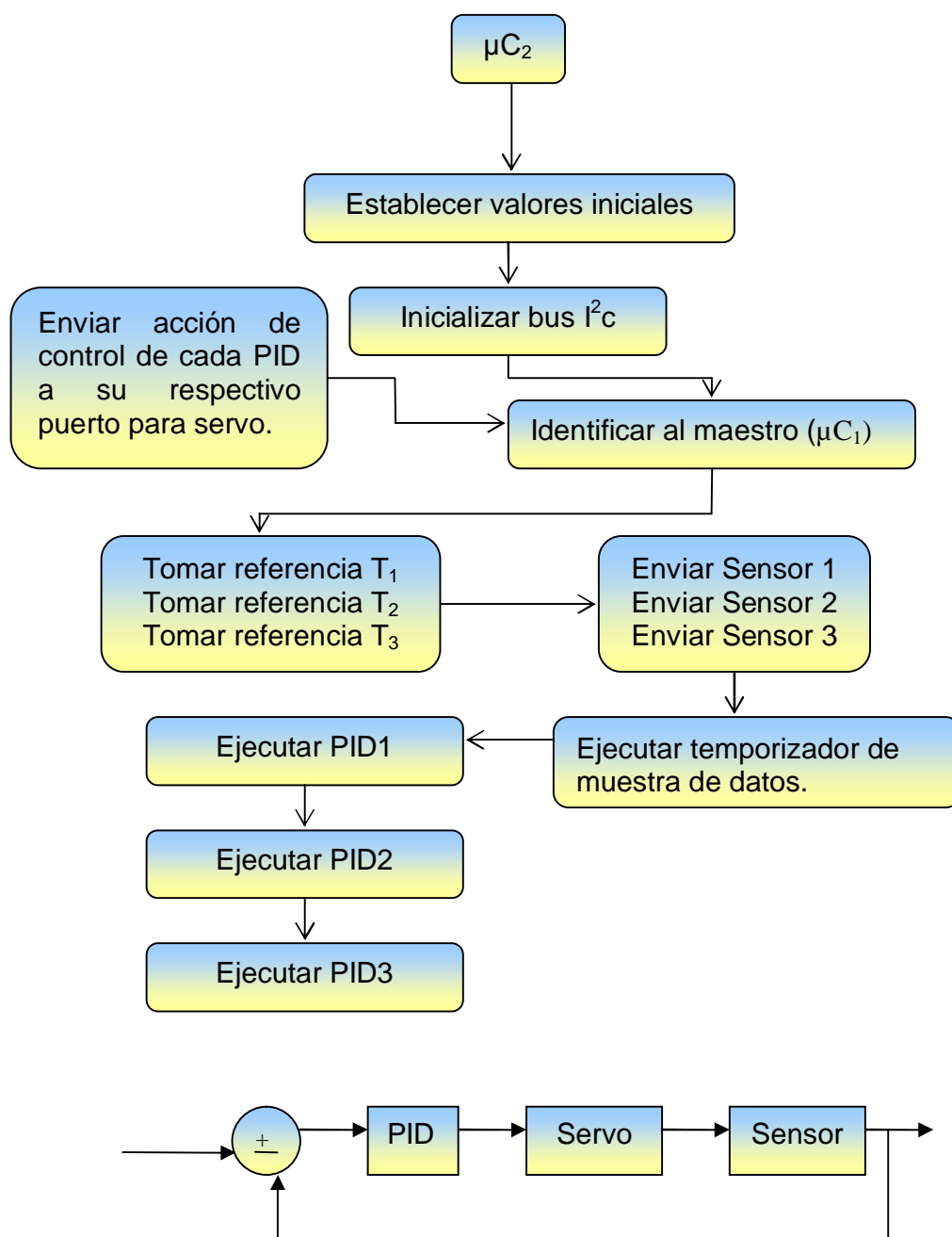


Figura 38. Diagrama de bloques de la programación  $\mu_3$

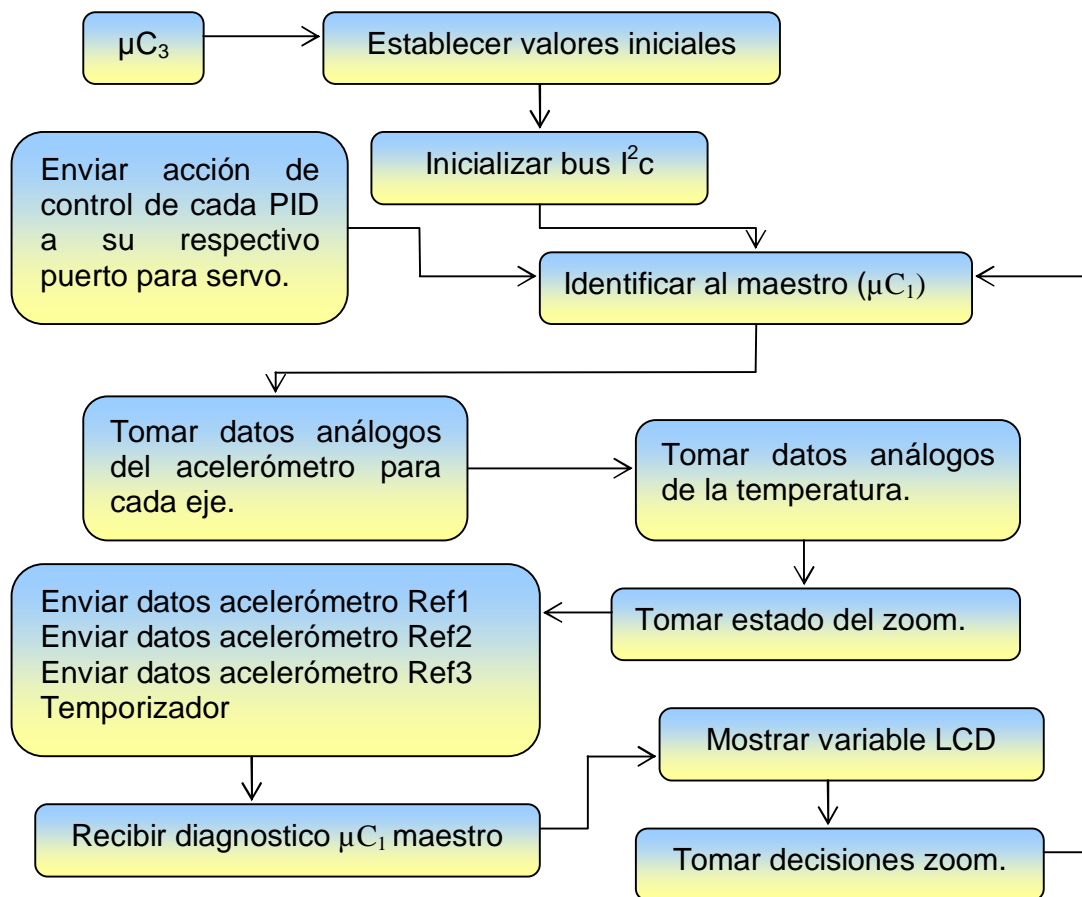
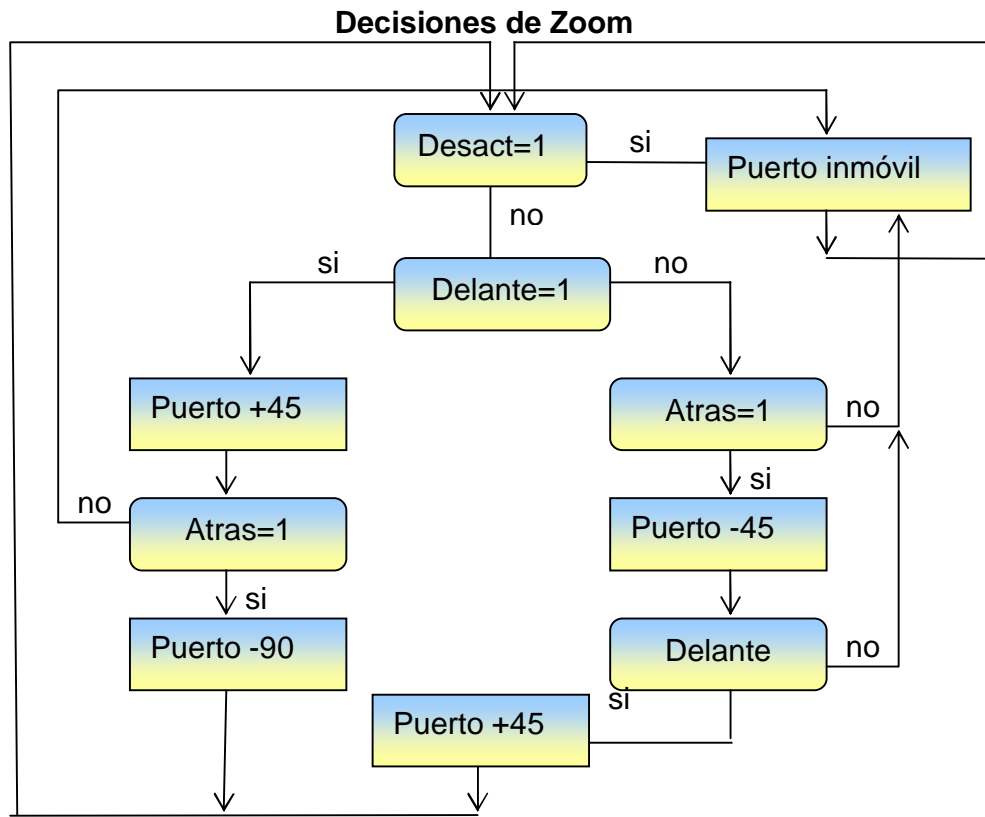


Figura 39. Diagrama de bloques de la programación zoom



## 11.2 DOCUMENTACIÓN MECÁNICA

Anexo se encuentran los planos tanto de la estructura de la valla como de los diferentes subsistemas que la conforman. (Ver anexo 2)

## 11.3 SELECCIÓN DE MATERIALES

El Plástico está presente en sus más diversas formas en todos los momentos de nuestra vida y, la mayor parte de las veces, no nos damos cuenta de su importancia.

El Plástico es indisoluble del estilo de vida moderno, y éste extraordinario material consiguió, a lo largo de los últimos 150 años, cambiar radicalmente a la sociedad en que vivimos, contribuyendo al aumento del nivel de vida y del bienestar general. Si reflexionamos sobre los avances tecnológicos, la cirugía, o incluso, sobre la Internet, es fácil concluir que ninguno de ellos serían posibles sin el Plástico.

Prueba de que el Plástico es el material del Siglo XXI por excelencia es nuestro mundo contemporáneo, repleto de objetos e instrumentos fabricados de este material. Existen, hoy en día, más de 1000 tipos de plásticos diferentes, usados para los más diversos fines.

## **CLASIFICACIÓN (POR PROPIEDADES FÍSICAS)**

Termoendurecibles: adquieren la propiedad de productos rígidos por acción del calor y de reacciones químicas y no pueden ser moldeados nuevamente por acción del calor.

Elastómeros: vulgarmente conocidos como caucho, pueden clasificarse en dos grandes grupos, los naturales (por ejemplo, Látex) y los sintéticos (por ejemplo, SBR).

Termoplásticos: se ablandan cuando se calientan y se endurecen de nuevo cuando se enfrían, lo que permite moldearlos sucesivas veces. Más del 80% de los plásticos utilizados son normalmente de este tipo.

## **VENTAJAS DEL PLÁSTICO**

- El Plástico tiene infinitas posibilidades de utilización;
- El Plástico es un material higiénico y aséptico;
- El Plástico es un óptimo aislante térmico;
- El Plástico es un material leve;
- El Plástico es flexible y maleable;
- El Plástico es un material resistente;
- El Plástico es durable y fiable;
- El Plástico es reutilizable;
- El Plástico es reciclable.

Después de realizar una investigación a fondo de las clases de plásticos existentes y de conocer e analizar sus características decidimos que para la construcción del sistema cardánico los termoplásticos eran los indicados debido a que en los termoplásticos representan el 78-80% de consumo total de los plásticos, no suele existir ningún tipo de enlace químico fuerte entre sus cadenas, por lo que su estructura es como un entrecruzamiento caprichoso y liado de cadenas a modo de ovillo de lana.

Un aporte de calor permite que las cadenas puedan desliarse y resbalar unas sobre otras confiriendo el llamado estado visco elástico. Por tanto, los termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse a presión y su propiedad esencial es que existe una temperatura en la que las cadenas adquieren suficiente energía para poder desplazarse unas respecto a otras. A esta temperatura se la denomina temperatura de transición del estado vítreo ("glassy temperature")  $T_g$ . Los polímeros termoplásticos son rígidos por debajo de  $T_g$  y deformables por encima de esta temperatura. Es decir, que si la aplicación del polímero exige que posea rigidez a temperatura ambiente (por ejemplo si va a utilizarse para construir tuberías o envases), debe cumplirse que  $T_g > T_{\text{ambiente}}$ , aunque no interesa tampoco que  $T_g$  sea demasiado grande, pues esto dificultaría el procesado del polímero.

Entre la gama de termoplásticos escogimos los polietilenos ya que es el termoplástico más usado en nuestra sociedad. Los productos hechos de polietileno van desde materiales de construcción y aislantes eléctricos hasta material de empaque. Es un plástico barato que puede moldearse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas. Son polímeros de altos pesos moleculares y poco reactivos debido a que están formados por hidrocarburos saturados. Sus macromoléculas no están unidas entre sí químicamente, excepto en los productos reticulados. Si la densidad del polietileno aumenta, aumentan también propiedades como la rigidez, dureza, resistencia a la tensión, resistencia a la abrasión, resistencia química, punto de reblandecimiento e impacto a bajas temperaturas. Sin embargo, este aumento significa una disminución en otras propiedades como el brillo, resistencia al rasgado y la elongación.

A continuación se muestra una breve explicación de las propiedades físicas y mecánicas de los polietilenos seleccionados al igual que una pequeña explicación del por qué fueron seleccionados:

**Nylon** (poliamida): Familia de resinas usadas en ingeniería que tienen tenacidad y resistencia sobresalientes al desgaste, bajo coeficiente de fricción y propiedades eléctricas y resistencia química excelentes. Las resinas son higroscópicas; su estabilidad dimensional es peor que la de la mayoría de otros plásticos usados en ingeniería.

El Nylon es un material muy utilizado en piezas de ingeniería, por sus muy buenas propiedades mecánicas (Resistencia a la tracción, resiliencia, etc.) resiste a temperaturas elevadas, y es muy buena su resistencia química, como ejemplo de aplicaciones podemos citar: engranajes, cojinetes, poleas, etc.

**UHMW-1900:** Es un material altamente cristalino con una excelente resistencia al impacto, aún en temperaturas bajas de -200°C, tiene muy bajo coeficiente de fricción, no absorbe agua, reduce los niveles de ruido ocasionados por impactos, presenta resistencia a la fatiga y es muy resistente a la abrasión (aproximadamente 10 veces mayor que la del acero al carbón). Tiene muy buena resistencia a medios agresivos, incluyendo a fuertes agentes oxidantes, a hidrocarburos aromáticos y halogenados, que disuelven a otros polietilenos de menor peso molecular.

(Polietileno de Altísimo Peso Molecular) Su Ultra alto peso molecular (entre 4 y 8 millones) le confiere una extraordinaria resistencia al desgaste, a la abrasión y al impacto, muy superior a la de los demás termoplásticos y también a la de los metales, sean puros o aleados, que conjuntamente con su muy buena resistencia química y mecánica, etc., lo hacen insustituible en infinidad de aplicaciones, algunas de las cuales son en la industria del papel (Foils, tapas de cajas de succión, rascadores, labios, etc.) alimenticia (guías para cadena, mesas de corte) textil (tacos de lanzaderas, etc.). Su condición de autolubrificante lo hace esencial en lugares donde no se tolera el aceite: embotelladoras (sinfín y estrellas alimentadoras, guías y cintas transportadoras) agro y minería (recubrimiento de silos y tolvas, placas de desgaste de molinos, Redlers-División cadenas transportadoras de granos, etc.).

**ACRILICO:** Alta claridad óptica; excelente resistencia a la intemperie en exteriores; duro, superficie brillante; excelentes propiedades eléctricas, resistencia química aceptable; disponible en colores brillantes transparentes, su permeabilidad al paso de la luz, su resistencia a los golpes, unidos a su sencilla mecanización, lo hacen muy aplicable en elementos tales como placas para ventanas, visores de máquinas, visores de flujo, piezas decorativas, protectores, tubos de inspección, protectores de tubos fluorescentes, eyectores, etc.

Tabla 21. Propiedades de los materiales polietilenos.

| PROPIEDADES                          | UNIDAD                         | ACRÍLICO      | UHMW<br>1900      | NYLON<br>6®    | NYLON<br>6.6®  |
|--------------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|----------------|----------------|
| Resistencia a la tracción            | P.S.I                          | 8000-11000    | 2500-3500         | 11800 - 10000y | 12000 - 11000y |
| Elongación %                         | %                              | 2 - 7         | 300 - 500         | 200 x - 300 y  | 60 x - 300 y   |
| Resistencia a la compresión          | P.S.I.                         | 11000 - 19000 | 2400              | 13000          | 15000          |
| Resistencia a la flexión             | P.S.I.                         | 12000 - 17000 | 1000              | -              | 17000x - 6100y |
| Dureza Rockwell                      | -                              | M80 - M100    | D60 - 70 Shore    | R119           | R120 - M83     |
| Módulo de flexión                    | PSI X 10E5                     | 3.90 - 4.75   | 1.30 - 1.40       | 3.95 x - 1.4 y | 4.20x - 1.85y  |
| Módulo de tracción                   | PSI X 10E5                     | 3.5 - 4.5     | 0.20 - 1.10       | -              | -              |
| Módulo de compresión                 | PSI X 10E5                     | 3.90 - 4.75   | -                 | 2.5            | -              |
| Peso específico                      | g/cm <sup>3</sup>              | 1.17 - 1.20   | 0.94              | 1.12 - 1.14    | 1.13 - 1.15    |
| Conductividad térmica                | 10E-1 cal/seg/c m <sup>2</sup> | 4.6           | 11 - 12,4         | 5.8            | -              |
| Calor específico                     | Cal/°C/g m                     | 0.35          | 0,55              | 0.4            | -              |
| Resistencia dieléctrica de ruptura   | nota                           | 450 / 550     | 710               | 400            | 600            |
| Absorción de agua (24 hs. 1/8" esp.) | %                              | 0.2 - 0.4     | < 0.01            | 1.3 - 1.9      | 1.5            |
| Efecto de los rayos solares          | -                              | Ninguna       | no es recomendado | Buena          | Buena          |
| Resistencia a los ácidos leves       | -                              | Buena         | Excelente         | Buena          | Buena          |

## 11.4 SELECCIÓN DE ENGRANAJES

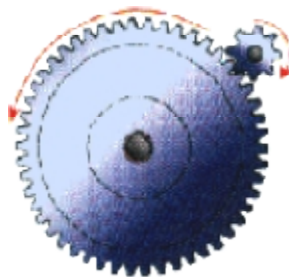
El engranaje es una rueda o cilindro dentado empleado para transmitir un movimiento giratorio o alternativo desde una parte de una máquina a otra. Un conjunto de dos o más engranajes que transmite el movimiento de un eje a otro se denomina tren de engranajes. Los engranajes se utilizan sobre todo para transmitir movimiento giratorio, pero usando engranajes apropiados y piezas dentadas planas pueden transformar movimiento alternativo en giratorio y viceversa.

Hay varios tipos de engranajes:

**Engranaje recto**, una rueda con dientes paralelos al eje tallados en su perímetro. Los engranajes rectos transmiten movimiento giratorio entre dos ejes paralelos. En un engranaje sencillo, el eje impulsado gira en sentido opuesto al eje impulsor. Si se desea que ambos ejes giren en el mismo sentido se introduce una rueda dentada denominada 'rueda loca' entre el engranaje impulsor o motor y el impulsado.

La rueda loca gira en sentido opuesto al eje impulsor, por lo que mueve al engranaje impulsado en el mismo sentido que éste. En cualquier sistema de engranajes, la velocidad del eje impulsado depende del número de dientes de cada engranaje. Un engranaje con 10 dientes movido por un engranaje con 20 dientes girará dos veces más rápido que el engranaje impulsor, mientras que un engranaje de 20 dientes impulsado por uno de 10 se moverá la mitad de rápido. Empleando un tren de varios engranajes puede variarse la relación de velocidades dentro de unos límites muy amplios.

Figura 40. Engranaje recto

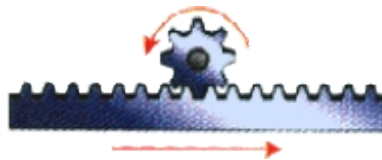


**Los engranajes interiores o anulares** son variaciones del engranaje recto en los que los dientes están tallados en la parte interior de un anillo o de una rueda con reborde, en vez de en el exterior. Los engranajes interiores suelen



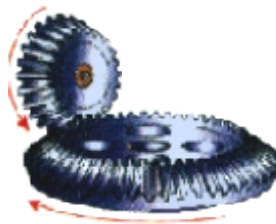
ser impulsados por un piñón, un engranaje pequeño con pocos dientes. La cremallera (barra dentada plana que avanza en línea recta) funciona como una rueda dentada de radio infinito y puede emplearse para transformar el giro de un piñón en movimiento alternativo, o viceversa.

Figura 41. Engranaje anular



**Los engranajes cónicos**, así llamados por su forma, tienen dientes rectos y se emplean para transmitir movimiento giratorio entre ejes no paralelos.

Figura 42. Engranaje Cónico

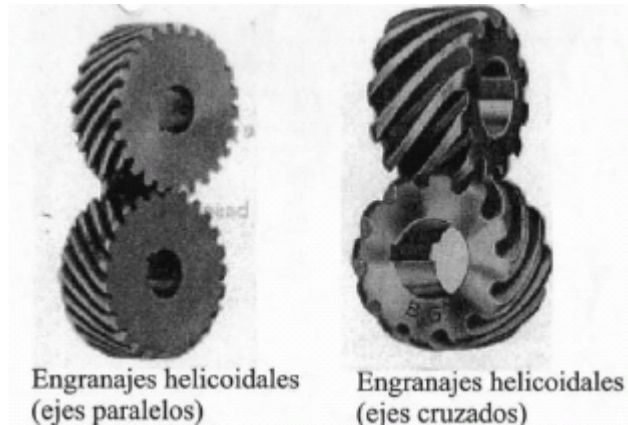


**Los engranajes helicoidales**, los dientes de éstos no son paralelos al eje de la rueda dentada, sino que se enroscan en torno al eje en forma de hélice. Estos engranajes son apropiados para grandes cargas porque los dientes engranan formando un ángulo agudo, en lugar de  $90^\circ$  como en un engranaje recto. Los engranajes helicoidales sencillos tienen la desventaja de producir una fuerza que tiende a mover las ruedas dentadas a lo largo de sus ejes. Esta fuerza puede evitarse empleando engranajes helicoidales dobles, o bihelicoidales, con dientes en forma de V compuestos de medio diente helicoidal dextrógiro y medio diente helicoidal levógiro.

Los engranajes hipoides son engranajes cónicos helicoidales utilizados cuando los ejes son perpendiculares pero no están en un mismo plano. Una de las aplicaciones más corrientes del engranaje hipoide es para conectar el árbol de la transmisión con las ruedas en los automóviles de tracción trasera. A veces se denominan de forma incorrecta engranajes en espiral los engranajes helicoidales empleados para transmitir rotación entre ejes no paralelos.

Otra variación del engranaje helicoidal es el engranaje de husillo, también llamado tornillo sin fin. En este sistema, un tornillo sin fin largo y estrecho dotado de uno o más dientes helicoidales continuos engrana con una rueda dentada helicoidal. La diferencia entre un engranaje de husillo y un engranaje helicoidal es que los dientes del primero se deslizan a lo largo de los dientes del engranaje impulsado en lugar de ejercer una presión de rodadura directa.

Figura 43. Engranaje helicoidal

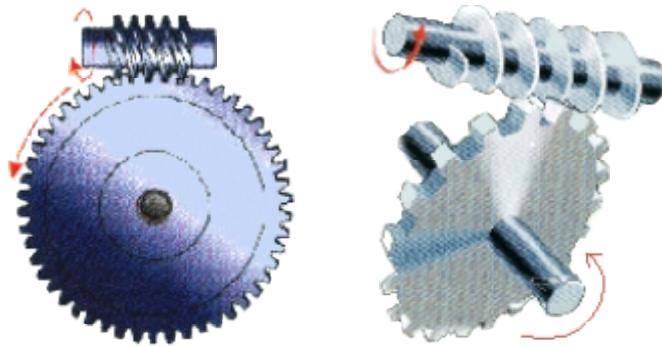


### ¿Engranaje seleccionado?

Después de investigar decidimos utilizar para nuestro sistema cardánico los Engranajes helicoidales debido a que este reduce el ruido y las cargas dinámicas, lo que representa una mejora en el trabajo de engrane, ya que de este modo la presión transmitida resulta aplicada de manera continua y progresiva, permitiendo la transmisión de mayores potencias puesto que aumentan la fuerza y la velocidad transmitidas.

Además es posible obtener piñones de menor número de dientes que en las ruedas de dientes rectos, lográndose una relación de transmisión más elevada. Y dentro de los engranajes helicoidales el de Tornillo sin fin y rueda helicoidal ya que este mecanismo sirve para transmitir el movimiento entre ejes que forman en el espacio un ángulo cualquiera y es utilizado cuando se exige una gran reducción de velocidad en un espacio limitado y una marcha silenciosa.

Figura 44. Engranaje tornillo sin fin corona



## 11.5 SELECCIÓN DE SENSORES

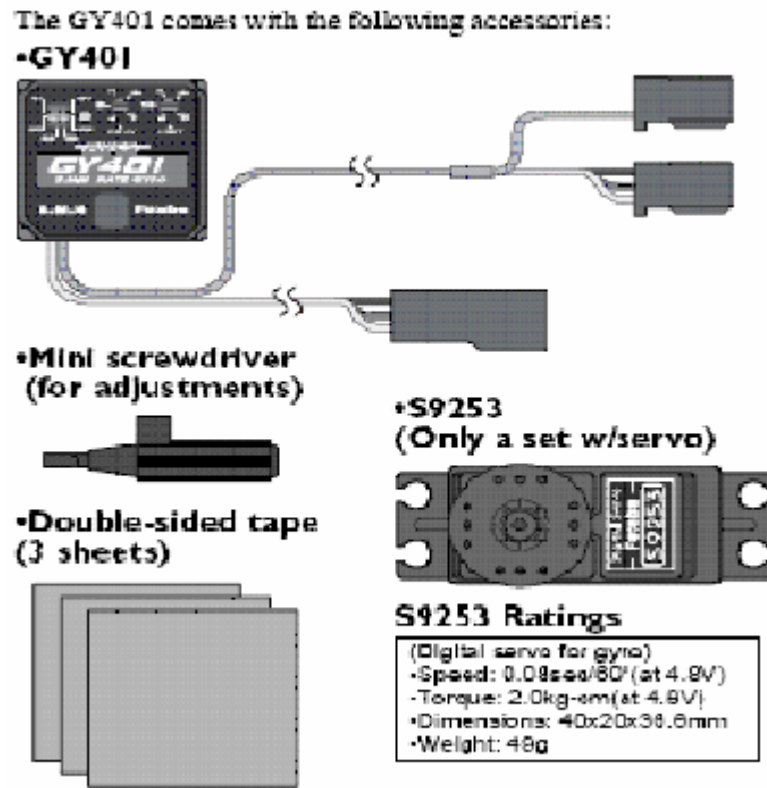
Para el control del movimiento del sistema respecto a los ejes *yaw*, *roll* y *pitch* (Guiñada, Alabeo y Cabeceo, respectivamente) se hizo necesario un sensor para cada grado de libertad y debido a que este debe estar fijo de manera independiente al movimiento del avión se hizo necesario el uso de sistema giroscópicos, para los cuales analizaremos su utilidad a continuación.

La línea futaba cuenta con giroscopios especializados para el control de movimiento de aeromodelos dando muy buenos resultados.

Unos de los giroscopios a estudiar es el GY 401 el cual cuenta con las siguientes características:

- Led de indicador de estatus.
- Switch indicador de dirección.
- Control de señal de timón temporizada.
- Sensibilidad de control de ganancia del timón
- Calculo de control PI y posterior señal de control al servomotor.
- Corrector de dirección de vientos cruzados.

Figura 45. Giroscopio GY401

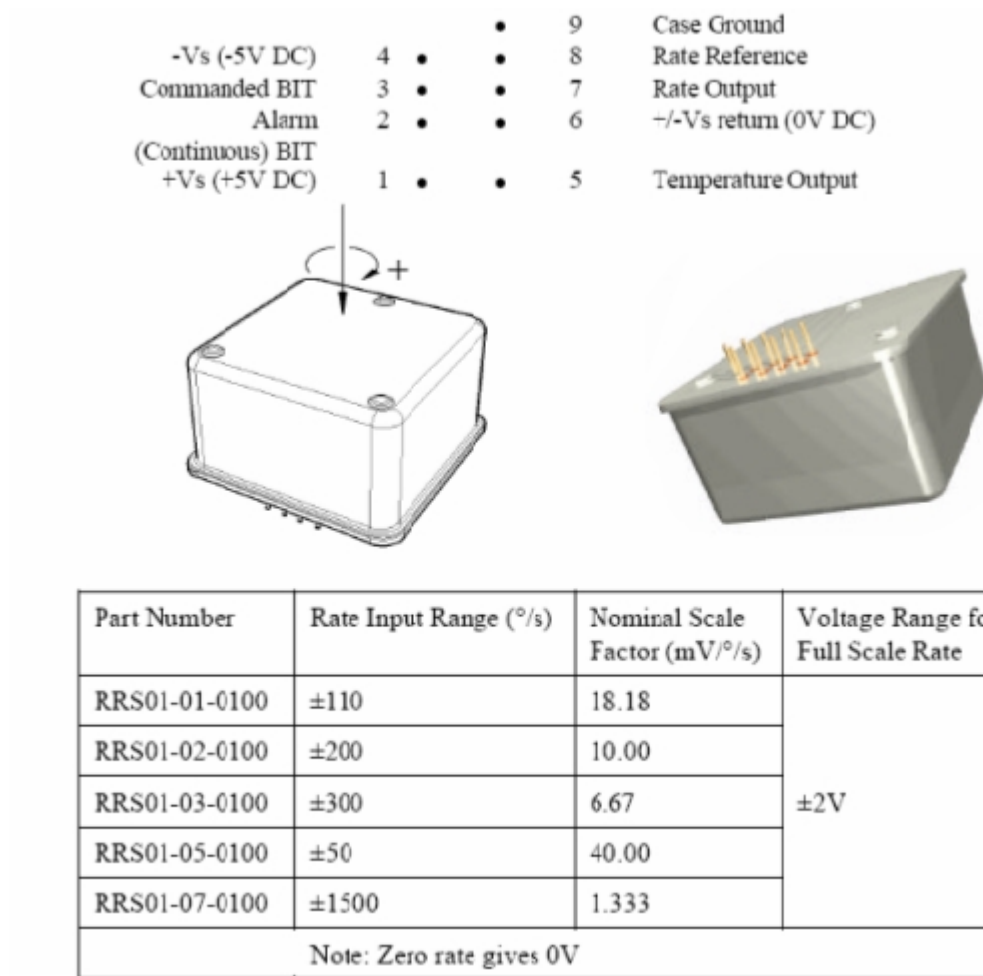


Ahora el giro control de posición GY 501 de la línea futaba además de las especificaciones anteriores cuenta con un movimiento giroscópico mas preciso además de la posibilidad de observar en el display sus grados de rotación y estado de control de procesos.

Pero ambos giroscopios tienen el principal inconveniente de no dejarnos ver de manera digital las lecturas del sensor para de esta manera mostrar la posición de cada uno de los grados de libertad del sistema al usuario en tierra, además de que ambos al controlar estabilizar su posición toma su posición actual nuevamente como la posición inicial (es decir que no guarda una sola posición de origen utilizando coordenadas polares donde la ultima posición es la posición inicial.), lo cual no permite dimensionar el Angulo total de giro para relacionarla con la referencia.

A lo cual se estudiaron otro tipo de giroscopios con salida análoga con las siguientes características:

Figura 46. Diagrama conexión giroscopio



Esta familia de giroscopios tiene unas prestaciones excelentes, además de que su salida de medición es analógica pero se discutió que al acelerar el avión se obtendrían mediciones erróneas y no precisas al controlar (PID) la posición deseada, consecuentes a que el movimiento del avión va actuar sobre todos los sensores (los 3GL), y por tal motivo los sensores arrojaran todo tipos de lectura menos las indicadas por tal motivo se han sacado las siguientes conclusiones en la selección de sensores:

- Los sensores de posición de cada grado de libertad deben de actuar de manera independiente al movimiento del avión es decir, que los sensores de posición de los 3GL serán convencionales (Piesorresistivos o incrementales) para asegurar la posición y Angulo de giro en coordenadas cartesianas, lo contrario que ocurre con los giroscopios de la línea futaba que trabaja en coordenadas polares.

- Se colocaran sensores en una posición estática cuya lectura sea dependiente del avión para referenciar su movimiento con el control de la posición de los grados de libertad de nuestro sistema, esto se implementara con el objetivo de cuando se mueva el avión en determinada dirección el sistema se mantenga en las coordenadas del usuario.

Después de analizar el problema se tomo la decisión de utilizar sensores piezorresistivos, los cuales nos garantizan precisión en el muestreo de la posición actual. Dichos sensores se implementaran para el control del movimiento de los 3 grados de libertad; ya que en los sensores incrementales se dificulta la posición del sistema respecto a un punto guía.

Por lo tanto el Sensor que se utilizara será:

## SENSOR PIEZORRESISTIVO

Figura 47. Sensor Piher A15



### STANDARD SPECIFICATIONS

|                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| Resistance values*: | 5k, 10k         |
| Tolerance:          | ± 40%           |
| Nominal Power:      | 0.15 W @ 50°C   |
| Precision*:         | ± 7°            |
| Mechanical Life**:  | 100,000 cycles  |
| Temperature Range:  | -40°C to +120°C |
| Mechanical Angle:   | 360°            |
| Rotational Torque:  | ≤ 20 mN.m       |
| Max. Voltage:       | 250 VDC         |

(\*) Others upon request

(\*\*) 200,000 cycles version available upon request

Ahora para asegurar la estabilidad de la cámara se decidió implementar un acelerómetro para captar los cambios de posición del avión sin que afecte la posición de este a la cámara, realizando una diferencia entre las referencias del usuario y del avión.

## ACELEROMETRO

Figura 48. Módulo Triaxial CXL04M3



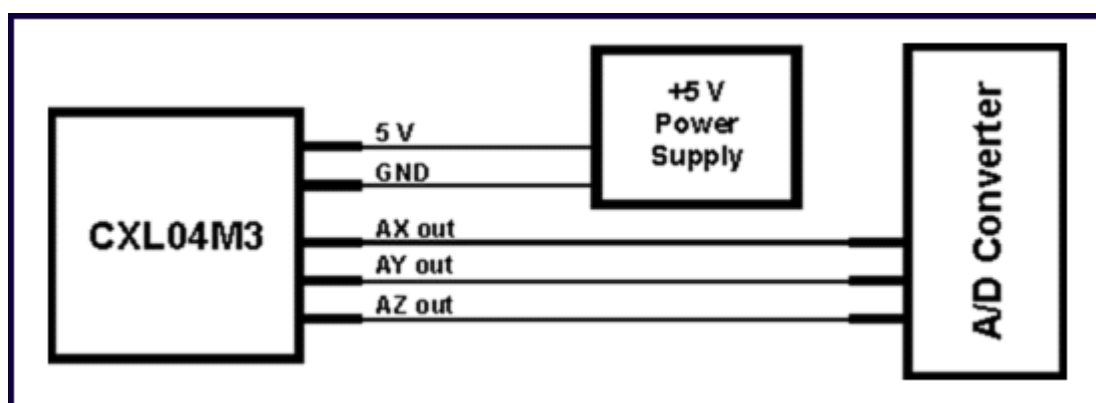
### Características

- Acelerómetro triaxial del alto rendimiento
- Pequeño
- +5 V escogen la operación de la fuente
- Empaquetado confiable con el montaje Screw-Down
- Calibrado en la fábrica
- Disponible en muchas gamas de la sensibilidad
- Cubierta de aluminio opcional de Ruggedized

### Usos

Análisis de la vibración, inclinación que detecta, movimiento que detecta, dirección de inercia, sistemas virtuales de la realidad, desplome que detecta, enviando y choque que supervisa, suspensión activa, análisis médico, cancelación activa del transporte del ruido.

Figura 49. Sistema de conexión CXL04M3



## ESPECIFICACIONES

Tabla 22. Especificaciones CXL04M3

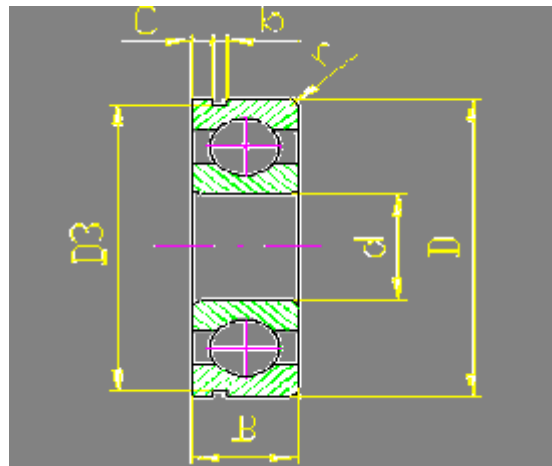
| MODELO                   | CXL04M3<br>TRIAxIAL | OBSERVACIONES |
|--------------------------|---------------------|---------------|
| Palmo                    | $\pm 4$             | $\pm 5\%$     |
| Sensibilidad             | 500                 | $\pm 5\%$     |
| Anchura de banda         | DC_100              | $\pm 5\%$     |
| Ruido                    | 5                   | Típico        |
| Salida cero de g         | $+ 2.5 \pm 0.1$     | @ °C +25      |
| Deriva cero de g         | $\pm 60$            | 0°C a 70°C    |
| Alineación               | $\pm 2$             | Típico        |
| Sensibilidad transversal | $\pm 3.5$           | Típico        |
| Gama de temperaturas     | -40 a +85           | -----         |
| Choque                   | 500                 | Accionado     |
| Cargamento de la salida  | kohm 10,<br>< 1 N-F | -----         |
| Voltaje de fuente        | $+ 5 \pm 0.25$      | -----         |
| Corriente de la fuente   | 24                  | -----         |



## 11.6 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

### RODAMIENTO 6006 N DE CARGA AXIAL

Figura 50. Rodamiento 6006N



Strength Calculation Type: Check Calculation - ANSI

Lubrication Type: Oil

Bearing type: SKF (G) (SI Units), Deep groove ball bearings single row with snap ring groove SKF

Bearing designation: 6006 N

Tabla 23. Especificaciones Rodamiento 6006N

| VarName  | U... | Value    | Description                               |
|----------|------|----------|---|
| From CBF |      |          |   |
| B        | mm   | 13       | Bearing Width                             |
| b        | mm   | 1.35     | Groove width                              |
| C        | mm   | 2.06     | Distance between slot and edge            |
| D        | mm   | 55       | Outside Diameter                          |
| d        | mm   | 30       | Inside Diameter                           |
| D3       | mm   | 52.6     | Inside diameter of retaining rings groove |
| Fmin     | lb   | 29.9     | Necessary min. Load                       |
| g        | kg   | 0.12     | Mass                                      |
| Lh       | h    | 3371.62  | Calculated Life                           |
| p        | lb   | 450      | Exponent for determining life             |
| P0       | lb   | 450      | Equivalent Static Load                    |
| Pz       | HP   | 0.009171 | Output Loss by Friction                   |
| r        | mm   | 1        | Fillet radius                             |
| s0       |      | 4.15     | Static Safety Coeff.                      |
| typ      |      | 6006 N   | Bearing type                              |

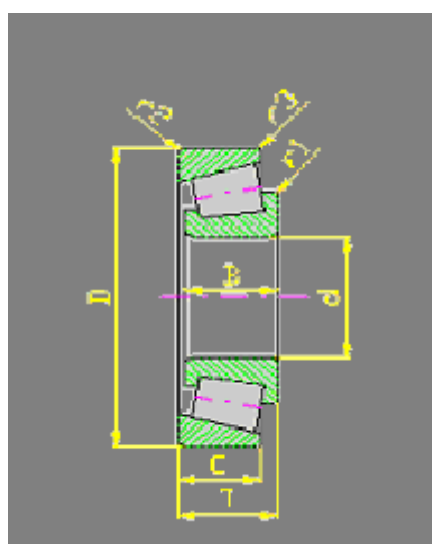
Tabla 24. Especificaciones rodamiento 6006N

| <b>Especificaciones</b>             |       |           |
|-------------------------------------|-------|-----------|
| Dynamic loading capacity of bearing |       | 2990 lb   |
| Static loading capacity of bearing  |       | 1865.9 lb |
| Inside Bearing Diameter             | d     | 30 mm     |
| Outside Bearing Diameter            | D     | 55 mm     |
| Bearing Width                       | B     | 13 mm     |
| Radius of Bearing Fillet or Chamfer | r     | 1 mm      |
| Min. Diameter of Shaft Shoulder     | damin | 35 mm     |
| Max. Diameter of Hub Shoulder       | Damax | 50 mm     |
| Max. Fillet Radius of Shoulder      | ramax | 1 mm      |
| Bearing Mass                        | m     | 0.12 kg   |

| <b>Input</b>             |    |            |
|--------------------------|----|------------|
| Required Life            | Lh | 10000 hour |
| Coeffic. of Add'l Forces | fd | 1          |
| Working Temperature      | ft | 212 °F     |
| Required Reliability     | a1 | 90 %       |
| <b>Load Conditions</b>   |    |            |
| Radial Load              |    | Fr         |
| Axial Load               |    | Fa         |
| Bearing Speed            |    | rpm        |
| Work Time                |    | t          |

## RODAMIENTO 30206 RADIAL PARA CARGAS MIXTAS

Figura 51. Rodamiento 30206



| VarName  | U... | Value     | Description                   |
|----------|------|-----------|-------------------------------|
| From CBF |      |           |                               |
| alfa     |      | 12        | Taper angle                   |
| B        | mm   | 16        | Inside Ring Width             |
| C        | mm   | 14        | Outside Ring Width            |
| d        | mm   | 30        | Inside Diameter               |
| D        | mm   | 62        | Outside Diameter              |
| Fmin     | lb   | 180.74    | Necessary min. Load           |
| y        | ky   | 0.23      | Mass                          |
| Lh       | h    | 253067.93 | Calculated Life               |
| p        | lb   | 450       | Exponent for determining life |
| P0       | lb   | 450       | Equivalent Static Load        |
| Pz       | HP   | 0.011005  | Output Loss by Friction       |
| r12      | mm   | 1         | Fillet radius                 |
| sU       |      | 21.98     | Static Safety Coeff.          |
| T        | mm   | 17.25     | Bearing Height                |
| typ      |      | 30206     | Bearing type                  |

Strength Calculation Type: Check Calculation - ANSI

Lubrication Type: Oil

Bearing type: SKF (B) (SI Units), Tapered roller single row bearings SKF

Bearing designation: 30206

Tabla 25. Especificaciones rodamiento 30206

| Input                    |    |            |
|--------------------------|----|------------|
| Required Life            | Lh | 10000 hour |
| Coeffic. of Add'l Forces | fd | 1          |
| Working Temperature      | ft | 212 °F     |
| Required Reliability     | a1 | 90 %       |
| Load Conditions          |    |            |
| Radial Load              | Fr | 450        |
| Axial Load               | Fa | 0          |
| Bearing Speed            | n  | 1450       |
| Work Time                | t  | 100        |

Tabla 26. Especificaciones rodamiento 30206

| Especificaciones                    |       |           |
|-------------------------------------|-------|-----------|
| Inside Bearing Diameter             | d     | 30 mm     |
| Outside Bearing Diameter            | D     | 62 mm     |
| Bearing Width                       | B     | 16 mm     |
| Radius of Bearing Fillet or Chamfer | r     | 1 mm      |
| Min. Diameter of Shaft Shoulder     | damin | 38 mm     |
| Max. Diameter of Hub Shoulder       | Damax | 56 mm     |
| Max. Fillet Radius of Shoulder      | ramax | 1 mm      |
| Bearing Mass                        | m     | 0.23 kg   |
| Dynamic loading capacity of bearing |       | 9037 lb   |
| Static loading capacity of bearing  |       | 9891.6 lb |

## RODAMIENTO 51120 PARA CARGA AXIAL

Figura 52. Rodamiento 51120

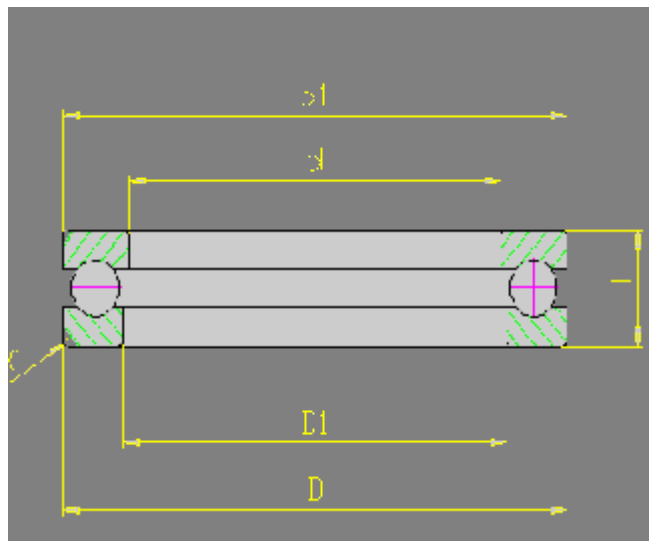


Tabla 27.Especificaciones rodamiento 51120

| VarName  | U... | Value | Description                         |
|----------|------|-------|-------------------------------------|
| From CBF |      |       |                                     |
| d        | mm   | 100   | Inside Diameter                     |
| D        | mm   | 135   | Outside Diameter                    |
| d1       | mm   | 135   | Shaft Ring Nominal Outside Diameter |
| D1       | mm   | 102   | Shaft Ring Inside Diameter          |
| g        | kg   | 0.97  | Mass                                |
| H        | mm   | 25    | Bearing Height                      |
| r        | mm   | 1     | Fillet radius                       |
| typ      |      | 51120 | Bearing type                        |

Strength Calculation Type: Check Calculation - ANSI

Lubrication Type: Oil

Bearing type: SKF (A) (SI Units),Thrust ball bearings single direction SKF

Bearing designation: 51120

Tabla 28.Especificaciones rodamiento 51120

| Especificaciones                    |       |          |
|-------------------------------------|-------|----------|
| Inside Bearing Diameter             | d     | 100 mm   |
| Outside Bearing Diameter            | D     | 135 mm   |
| Bearing Width                       | B     | 25 mm    |
| Radius of Bearing Fillet or Chamfer | r     | 1 mm     |
| Min. Diameter of Shaft Shoulder     | damin | 121 mm   |
| Max. Diameter of Hub Shoulder       | Damax | 114 mm   |
| Max. Fillet Radius of Shoulder      | ramax | 1 mm     |
| Bearing Mass                        | m     | 0.97 kg  |
| Dynamic loading capacity of bearing |       | 19154 lb |
| Static loading capacity of bearing  |       | 65195 lb |

Tabla 29. Especificaciones rodamiento 51120

| Input                  |    |      |            |
|------------------------|----|------|------------|
| Required Life          |    | Lh   | 10000 hour |
| Coeff. of Add'l Forces |    | fd   | 1          |
| Working Temperature    |    | ft   | 212 °F     |
| Required Reliability   |    | a1   | 90 %       |
| Load Conditions        |    |      |            |
| Radial Load            |    | Fr   | 450        |
| Axial Load             |    | Fa   | 0          |
| Bearing Speed          |    | n    | 1450       |
| Work Time              |    | t    | 100        |
| Radial Load            | Fr | 450  | lb         |
| Axial Load             | Fa | 0    | lb         |
| Bearing Speed          | n  | 1450 | rpm        |
| Work Time              | t  | 100  | %          |

En el sistema cardánico se utilizaron los anteriores rodamientos en la siguiente proporción:

- Rodamientos 6006 para soportar el peso de la esfera principal.
- 1 Rodamiento 30206 para soportar el eje principal y de esta forma el peso de la mayoría del sistema.
- 1 Rodamiento 51120 para alinear el eje principal y soportar el peso cuando esta en posición de prueba ( con la esfera principal hacia arriba con respecto a la tierra, la posición normal de trabajo es con la esfera principal hacia abajo con respecto a la tierra ).

Para los rodamientos 6006 y 30206 se recomienda protecciones laterales de caucho (ZZ) para aumentar su vida útil y resistencia a la polución y para el rodamiento 51120 se requeriría de una protección especial. Para la lubricación de los rodamientos anteriores se recomienda el aceite para disminuir adhesión de partículas y rodamiento continuo, como observación es de sobresaltar que estos rodamientos tienen capacidades de carga elevadas es decir para la aplicación, lo cual fue hecho con el propósito de darle robustez al sistema.

## 11.7 SISTEMA COMUNICACIÓN INHALAMBRICA

Figura 53. Xstream PKG



### ALCANCE

- Alcance para ambientes interiores/zonas urbanas: hasta 1500' (450 m)
- Alcance en Línea de Visión para ambientes exteriores: hasta 7 millas (11 km) con antena dipolo 2.1 dB
- Receiver Sensitivity: -110 dBm (@9600 bps)
- Outdoor line-of-sight Range: up to 20 miles (32 km) w/ high-gain antenna

No es necesario efectuar configuraciones en la parte externa de la caja para realizar la operación de RF. Simplemente, alimente los datos hacia dentro del MODEM y éstos, serán enviados al otro Terminal del enlace inalámbrico.

### SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

Los Módems de MaxStream 'escuchan' lo que otros no pueden; por eso es que nuestros Módems suministran alcances mas grandes y confiabilidad en los enlaces inalámbricos. Por cada 6 dBm ganados en la potencia de Transmisión o en la Sensibilidad de Recepción, los OEM e Integradores pueden doblar el alcance de un enlace inalámbrico. Los Módems XStream superan a otros módulos de mas alto costo, debido en gran parte a que, el incremento de alcance obtenido es logrado con una sensibilidad superior del Receptor.

Tabla 30. Especificaciones Xstream PKG

### ***XStream-PKG™ 900 MHz & 2.4 GHz RF Modems***

| Especificaciones              |  | XStream-PKG-R™<br>(RS-232/435)   | XStream-PKG-U™<br>(USB)  | XStream-PKG-E™<br>(Ethernet) | XStream-PKG-T™<br>(Teléfono)                         |
|-------------------------------|--|--|--|------------------------------|--|
| Rendimiento                   | Alcance en ambientes industriales<br>abiertos<br>(por una antena dipolo de 2.1 dB)             | 900 MHz<br>2.4 GHz   | hasta 1500' (450 m)<br>hasta 600' (180 m)  |                              |  |
|                               | Alcance de RF en línea de Vista<br>para ambientes urbanos<br>(por una antena dipolo de 2.1 dB) | 900 MHz<br>2.4 GHz   | hasta 7 millas (11 km)<br>hasta 3 millas (5 km)  |                              |  |
|                               | Alcance de RF en línea de Vista<br>para ambientes urbanos<br>(con una antena dipolo de 4.1 dB) | 900 MHz<br>2.4 GHz   | hasta 20 millas (32 km)<br>hasta 10 millas (16 km)   |                              |  |
|                               | Potencia de Salida en<br>Transmisión   | 900 MHz<br>2.4 GHz   | 100 mW (20 dBm)<br>63 mW (17 dBm)  |                              |  |
|                               | Sensibilidad del Receptor  | 900 MHz<br>2.4 GHz   | -110 dBm (@9,600 bps Velocidad de Proceso y Transferencia de Datos), -107 dBm (@19,200 bps)<br>-105 dBm (@9,600 bps Velocidad de Proceso y Transferencia de Datos), -102 dBm (@19,200 bps) |                              |  |
|                               | Régimen de datos de la Interfaz<br>(software seleccionable)                                    | 10 - 5,600 bps<br>(incluyendo regímenes no estándares de baudios)                                    |  |                              |  |
|                               | Velocidad del Píndice y Transferencia de Datos   | 9,600 or 19,200 bps  |  |                              |  |
|                               | Régimen RF de datos  | 10,000 bps (@9,600 bps Velocidad de Proceso y Transferencia de Datos)<br>or 20,000 bps (@19,200 bps) |  |                              |  |
|                               | Rango de Frecuencia  | ISM 902 - 928 MHz o 2.4000 - 2.4835 GHz  |  |                              |  |
|                               | Espectro Amplio  | FHSS (Espectro Amplio mediante Saltos de Frecuencia)   |  |                              |  |
| Trabajo en Red<br>y Seguridad | Modulación   | FSK (Modulación por desplazamiento de frecuencia)  |  |                              |  |
|                               | Topologías permitidas en la Red  | Igual a igual (no hay dependencia Amo/Esclavo), Punto a Punto,<br>Punto a Múltiplo, Redes múltiples  |  |                              |  |
|                               | Capacidad de Canales (software seleccionable)  | 7 secuencias de salto  |  |                              |  |
|                               | Capas de Filtración de la Red  | Canal de Salto de Frecuencia, VID (Número de identificación del Vendedor), Dirección de Destino      |  |                              |  |
|                               | Opciones para el Conector  | RP-SMA (polaridad reversa SMA)   |  |                              |  |
| Antena                        | Impedancia   | 50 ohms no balanceada  |  |                              |  |
|                               | Certificaciones<br>(lista parcial)   | FCC Parte 15.247<br>Industry Canada (IC)<br>Europa   | DURXST-RE/M (900 MHz), DUR 24XS-RE/M (2.4 GHz)<br>4714A-9XSTRFAM (900 MHz), 4714A-17C08 (2.4 GHz)<br>ETSI, CE (2.4 GHz solamente)  |                              |  |
|                               |  | XStream-PKG-R™   | XStream-PKG-U™   | XStream-PKG-E™               | XStream-PKG-T™                                       |
| Requerimientos<br>de Potencia | Voltaje de la Fuente de Poder  | 7 - 10 V   | 5 - 12 V   | 7 - 23 V                     | 7 - 20 V   |
|                               | Corriente de Recepción   | 900 MHz<br>2.4 GHz   | 70 mA<br>90 mA   | 240 mA<br>115 mA             | 140 mA<br>160 mA                                     |
|                               | Corriente de Transmisión   | 900 MHz<br>2.4 GHz   | 170 mA<br>180 mA   | 320 mA<br>200 mA             | 220 mA<br>230 mA                                     |
|                               | Corriente Power-Down   | < 1 mA<br>50 mA<br>230 mA<br>n/a   |  |                              |  |
|                               |  |  |  |                              |  |
| Especificaciones<br>Físicas   | Tamaño   | 2.75" x 6.50" x 1.125"<br>(8.99cm x 16.51cm x 2.88cm)  |  |                              | 2.75" x 6.50" x 1.50"<br>(8.99cm x 16.51cm x 3.81cm) |
|                               | Peso   | 7.1 oz (200 g)   |  |                              | 8.1 oz (228 g)                                       |
|                               | Conexión de Datos  | DE-9   | USB  | RJ-45                        | RJ-11  |
|                               | Temperatura de Operación   | 0 to 70° C (comercial) o -40 to 85° C (industrial)   |  |                              |  |



## 12. CONCLUSIONES

- La estructura mecánica del sistema cardánico posee estructuras que protegen los componentes internos de agentes externos como la humedad o polución que puedan afectar el buen funcionamiento del sistema.
- La correcta adaptación del diseño industrial al proyecto, permite crear y desarrollar conceptos que optimizan el valor, la función y apariencia del producto terminado, con el fin de beneficiar tanto al usuario como al grupo de desarrollo.
- Se desarrollo un método de diseño estructurado como plataforma del proyecto y base para el desarrollo a nivel industrial del dispositivo basado en las necesidades del cliente, interpretadas en atributos medibles en el dispositivo.
- El diseño para manufactura y el ensamble nos permitió comparar nuestro diseño con otros de la competencia y encontrar desventajas frente a estos, la mas relevante fue la complejidad de manufactura que poseen las piezas del sistema lo cual se reflejara en los costos
- La finalidad en el desarrollo de las cinco fases del diseño Mecatronico es determinar un mercado de oferta y demanda y hacer una innovación tecnológica que nos permita competir con un dispositivo que provea seguridad pero desde un paradigma diferente.
- Una metodología de diseño apropiada permite al grupo de diseño estar al tanto de todos los detalles importantes en el desarrollo del mismo, entre los cuales se destacan la selección de la arquitectura del producto con la cual se establece la planificación que permite capacidad de cambio en un futuro del producto. Igualmente con la selección de la arquitectura del producto se obtienen los subsistemas y módulos de la plataforma del producto a realizar.
- Después de realizar un análisis de los costos del proyecto, encontramos que es un diseño económico pero competente lo cual es su gran ventaja frente a otros existentes en el mercado.

## BIBLIOGRAFIA

BEER, Ferdinand; RUSSELL, E. Mecánica Vectorial para ingenieros: Dinámica. 6 ed. Madrid: McGraw Hill, 1997. 438 p.

BEER, Ferdinand; RUSSELL, E. Mecánica Vectorial para ingenieros: Estática. 6 ed. Madrid: McGraw Hill, 1997. 539 p.

ENTREVISTA con Carlos Rafael Pinedo, Ingeniero Electrónico. Santiago de Cali, Mayo 14 de 2006.

ENTREVISTA con Jaime Aguilar, Ingeniero Mecánico. Santiago de Cali, Mayo 4 de 2006.

Giroscopio GY240 [en línea]. Berlín: Futaba Gyros, 2000. [consultado 24 de febrero, 2006]. Disponible en Internet:

<http://www.towerhobbies.com/products/futaba/gyros.html>

NORTON, Robert. Diseño de Máquinas: Diseño engranajes. México: Prentice Hall, 999. 135 p.

Rodamientos [en línea]. Escocia: SKF, 2004. [consultado 28 de Abril, 2006]. Disponible en Internet:

[http://www.skf.com/portal/skf/home/products?paf\\_dm=shared&maincatalogue=1&lang=es&newlink=1\\_0\\_1](http://www.skf.com/portal/skf/home/products?paf_dm=shared&maincatalogue=1&lang=es&newlink=1_0_1)

Rodamientos [en línea]. Escocia: DeepGroove Rodamiento, 2001. [consultado 28 de Abril, 2006]. Disponible en Internet: <http://www.skf.com/files/059281.pdf>

Sensores [en línea]. Cauca: Detención, 2005. [consultado 4 de Marzo, 2006]. Disponible en Internet:

<http://www.isa.cie.uav.es/maria/sensores.pdf>

Servomotores y su control [en línea]. Massachussets: Microcon.pdf, 2000. [consultado 7 de febrero, 2006]. Disponible en Internet:

[http://www.aquarius.ime.ed.br/pinho/micro/trabajos/Robot\\_Bioins\\_I.pdf](http://www.aquarius.ime.ed.br/pinho/micro/trabajos/Robot_Bioins_I.pdf)

Shadow 200 Tactical UAV System [en línea]. Florida: Defense Update, 2001. [consultado 15 Enero, 2006]. Disponible en Internet:  
<http://www.defense-update.com/products/s/shadown.htm>

UAV System [en línea]. Massachusetts: Unmanned Aerial Vehicles Web Site, 1980. [consultado 17 de Enero, 2006]. Disponible en Internet:  
<http://uav.wff.nasa.gov>

ULRICH, Kart. Y EPPINDER, Steven. Product Design and Development: Diseño. 2 ed. Texas: McGraw Hill, 1997. 123 p.

## Anexo 1. Competidores

Figura 53. Combo Especial

### 100 mW Color Airborne Video & Virtual Reality Glasses \*\* Limited Time Combo Special \*\*



### RC VR i Glasses Specs

#### Specifications:

##### Optics:

- Field of view: 30 degrees each eye
- Requires no IPD adjustments

##### Audio:

- Stereo RCA Connectors, 1 volt p-p
- Frequency Response 20Hz - 20kHz

##### User Controls:

- Power: On / Off
- Volume Up / Down

##### Electrical:

- Power Supply: 110 AC Input, 6V DC output
- Power consumption: 3 watts

##### Mechanical:

- Ergonomically designed for comfort
- Foldable Frames
- Weight: 8 ounces
- Quick connect cable attachments
- Adjustable headband for all sizes
- Fully adjustable headphones

##### Display:

- Two, full color 0.7" Liquid Crystal Displays
- Resolution: 110,000 pixels per LCD Panel
- 230 x 173 lines of resolution

##### Interfaces:

- Input: Single NTSC Channel
- Video: Single channel RCA Input
- Audio: Stereo RCA Input

**Figura 54. 100 MW COLOR AIRBORNE VIDES & VIRTUAL REALITY GLASSES**

|   |   |
|---|---|
|    | <p><b>AAR14</b><br/>310 Line CMOS Color camera transmitter and receiver</p>   |
|    | <p><b>720mA NI-MH Battery with AC Charger</b><br/>Built in wire harness with power switch</p>   |
|   | <p><b>RC VR i Glasses</b><br/>Special RC Light weight Virtual Reality Glasses</p>   |
|  | <p><b>RC VR i Glasses Hood</b><br/>Velcro onto RC VR i Glasses to block out daytime sunlight</p>  |
|  | <p><b>RC VR i Glasses Regulated DC Power Cord</b><br/>12VDC Dual DC to DC Power Regulator to power up the Receiver and RC VR i Glasses from your 12 VDC Starter Battery</p> |

**Figura 55. Fokker D-VII / LWV14**



**Radio Controlled Airplanes Fokker D-VII ARF / LWV14 Airborne Video System Combo**

**ARF 90% Built**

Global reaches the spirit of early aviation with the Fokker D-VII. "We've always loved WWI era aircraft. Our modern facility allows us to make a new generation of high quality ARF's everyone can enjoy."

This Fokker is simple to build and flies great. In fact, sport flyers will enjoy this one because of its wide speed range and proper wing loading. And yes, it comes with those wheels.

Features: All wood built up construction Wire wheels included. Fiberglass, painted cowl included. Vacuum formed gun included. Metal center cabane struts. Adjustable to set proper wing incidence. Wood, covered, outer N-Struts Covered in real iron-on covering.

With our Lightweight Airborne Video System Model LWV14 at 10oz including the battery case, the Fokker D-VII wont even know it's attached! You will dazzle the viewers watching the TV Monitor as well as have many hours of recorded video to take to your next RC club meeting!

### **Specifications:**

- Engine: 40 to 46 Two Stroke, 52 Four Stroke, Astro Flight 25G/18C Electric
- Radio: 4 Channel with 4 Servos
- Top Wing Span: 48.5 (mean cord: 8) (Area: 388 sq. in.)
- Lower Wing Span: 43 (mean cord: 8.25) (Area: 354.75 sq. in.)
- Total Wing Area: 742.75
- Overall Length: 43
- Weight 5.5 to 6.5 pounds (According to Equipment Used)
- Wing Loading: 17.05 to 20.16 oz per sq. ft.

### **Model LWV14 Airborne Video Model LWV14**

#### **Transmitter / Camera:**

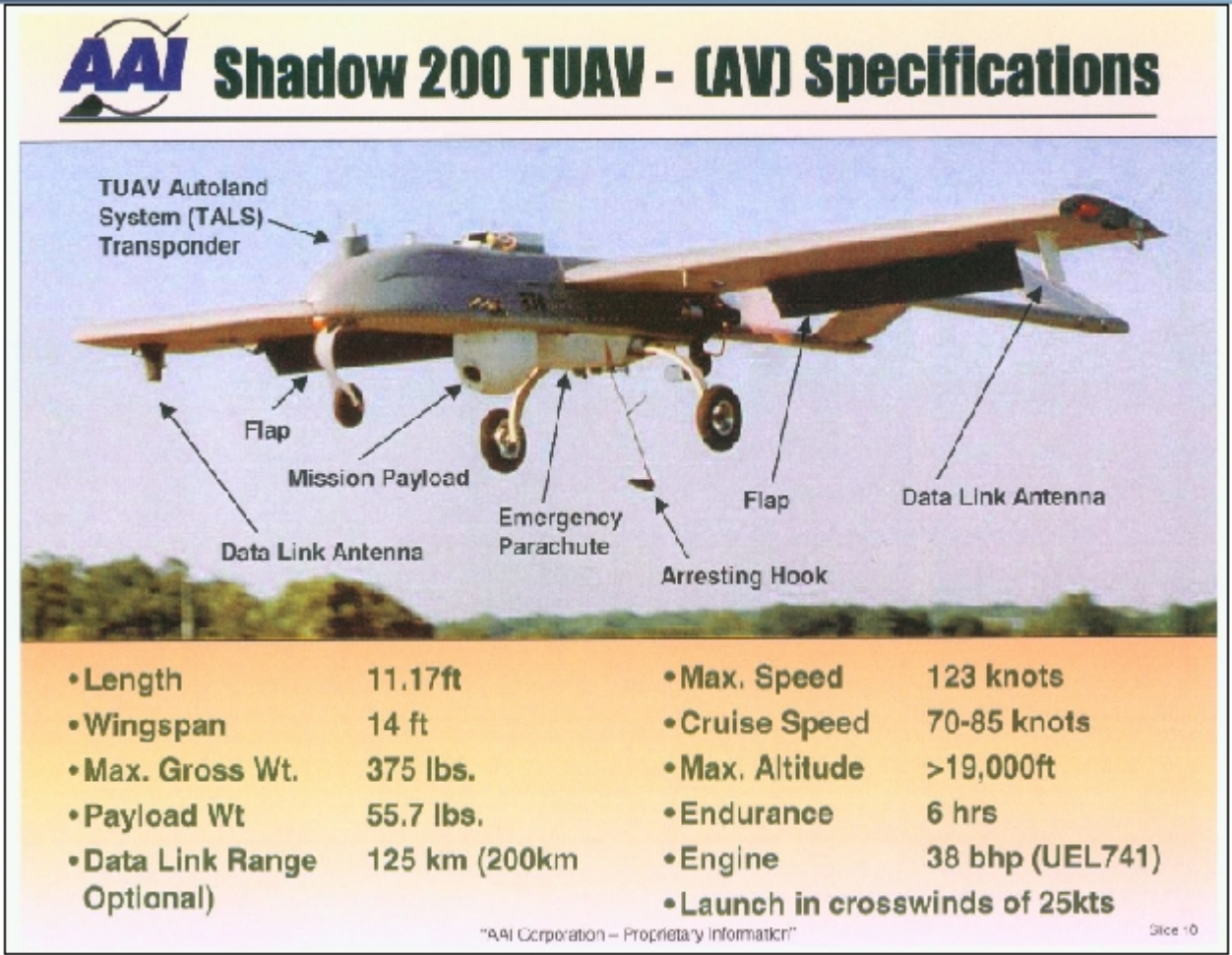
- Frequency: 2.434GHz
- Range: 1.45 miles
- Camera: TC Color CMOS 310 line Camera
- Camera Cable: 40" Flat Ribbon (Airflow Friendly)
- Camera Mount: Futaba Servo Mount
- Transmitter Antenna: Built in Omni
- Transmitter Voltage: 12vdc @ 270mA
- Transmitter Battery: 8 - AA Alkaline Battery Case
- Total Airborne Weight: ~ 10oz (including batteries)

#### **Receiver:**

- Receiver Voltage: 12vdc @ 360mA
- Receiver Output: Video
- Receiver Antenna: Built in Patch Antenna

**SHADOW 200 TUAV**

Figura 56. Especificaciones Shadow 200

The slide features the AAI logo at the top left, followed by the title "Shadow 200 TUAV - (AV) Specifications". Below the title is a photograph of the Shadow 200 TUAV aircraft in flight, viewed from a low angle. Several components are labeled with arrows pointing to them: "TUAV Autoland System (TALS) Transponder" on the nose, "Flap" on the left wing, "Mission Payload" under the fuselage, "Emergency Parachute" hanging from the bottom, "Arresting Hook" on the tail, and "Data Link Antenna" on the right wing. Below the photograph is a table of specifications. At the bottom of the slide, there is a small copyright notice and a slide number.

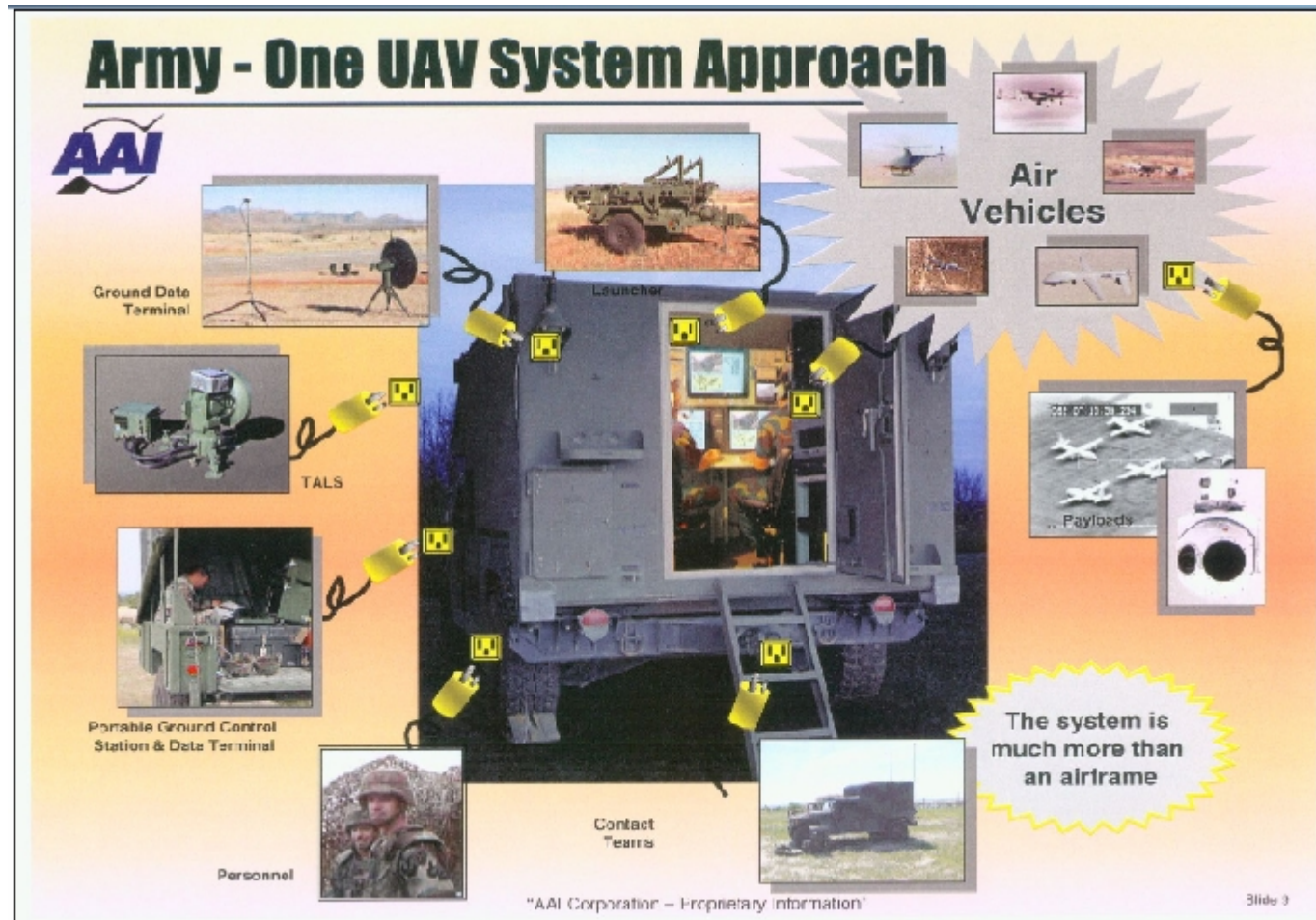
|                  |               |                                |                 |
|------------------|---------------|--------------------------------|-----------------|
| •Length          | 11.17ft       | •Max. Speed                    | 123 knots       |
| •Wingspan        | 14 ft         | •Cruise Speed                  | 70-85 knots     |
| •Max. Gross Wt.  | 375 lbs.      | •Max. Altitude                 | >19,000ft       |
| •Payload Wt      | 55.7 lbs.     | •Endurance                     | 6 hrs           |
| •Data Link Range | 125 km (200km | •Engine                        | 38 bhp (UEL741) |
| Optional)        |               | •Launch in crosswinds of 25kts |                 |

"AAI Corporation - Proprietary Information"

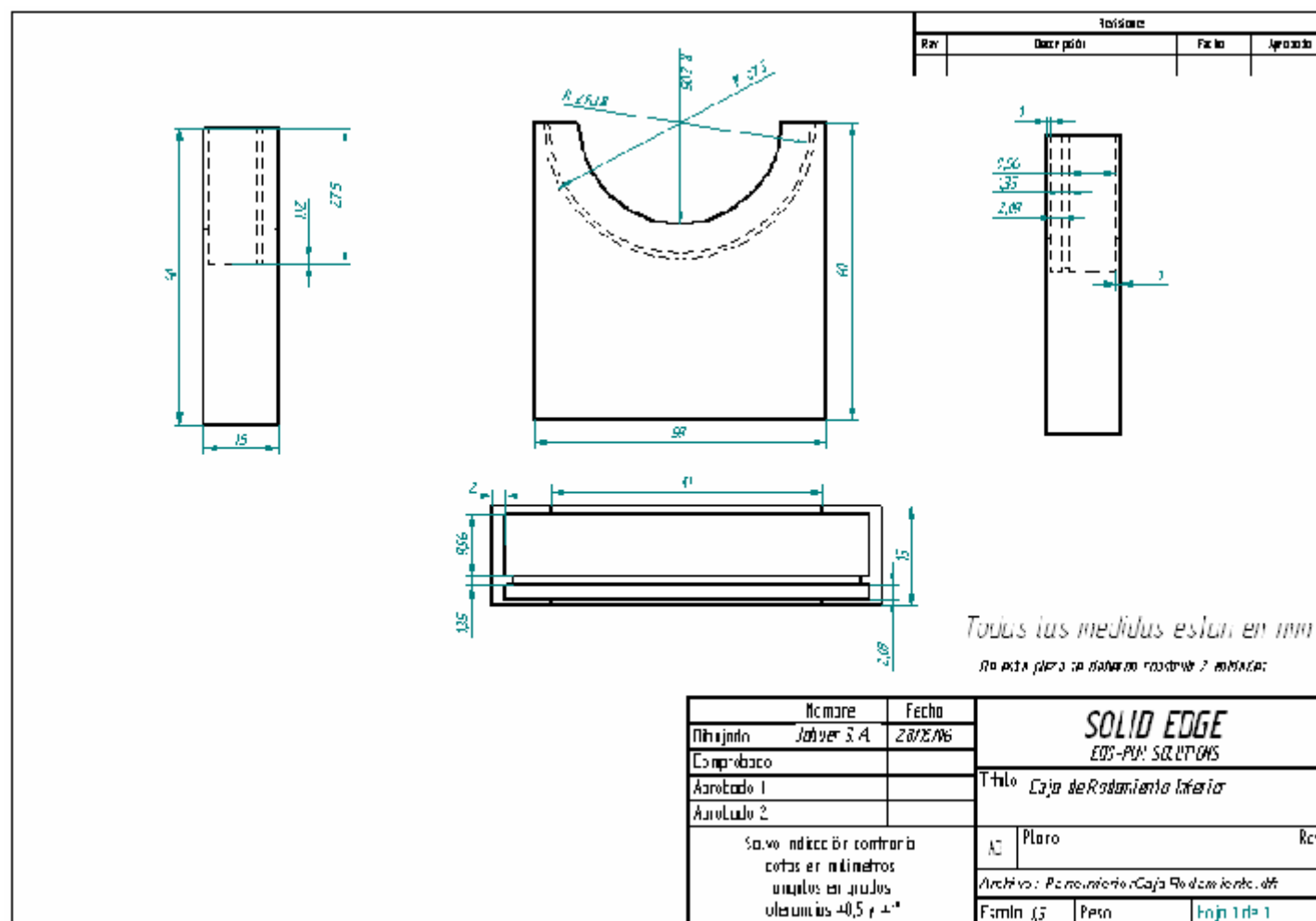
Slide 10

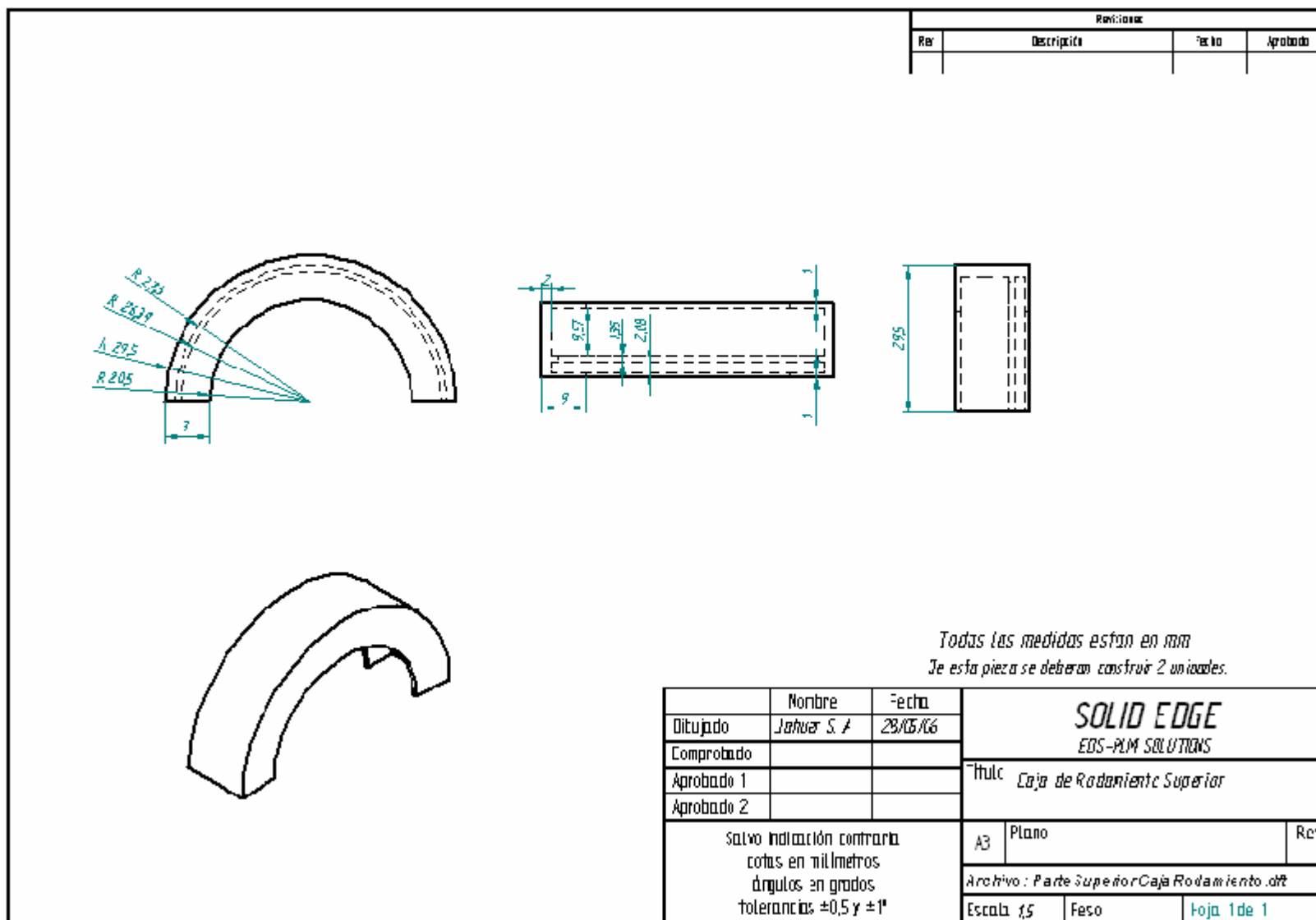


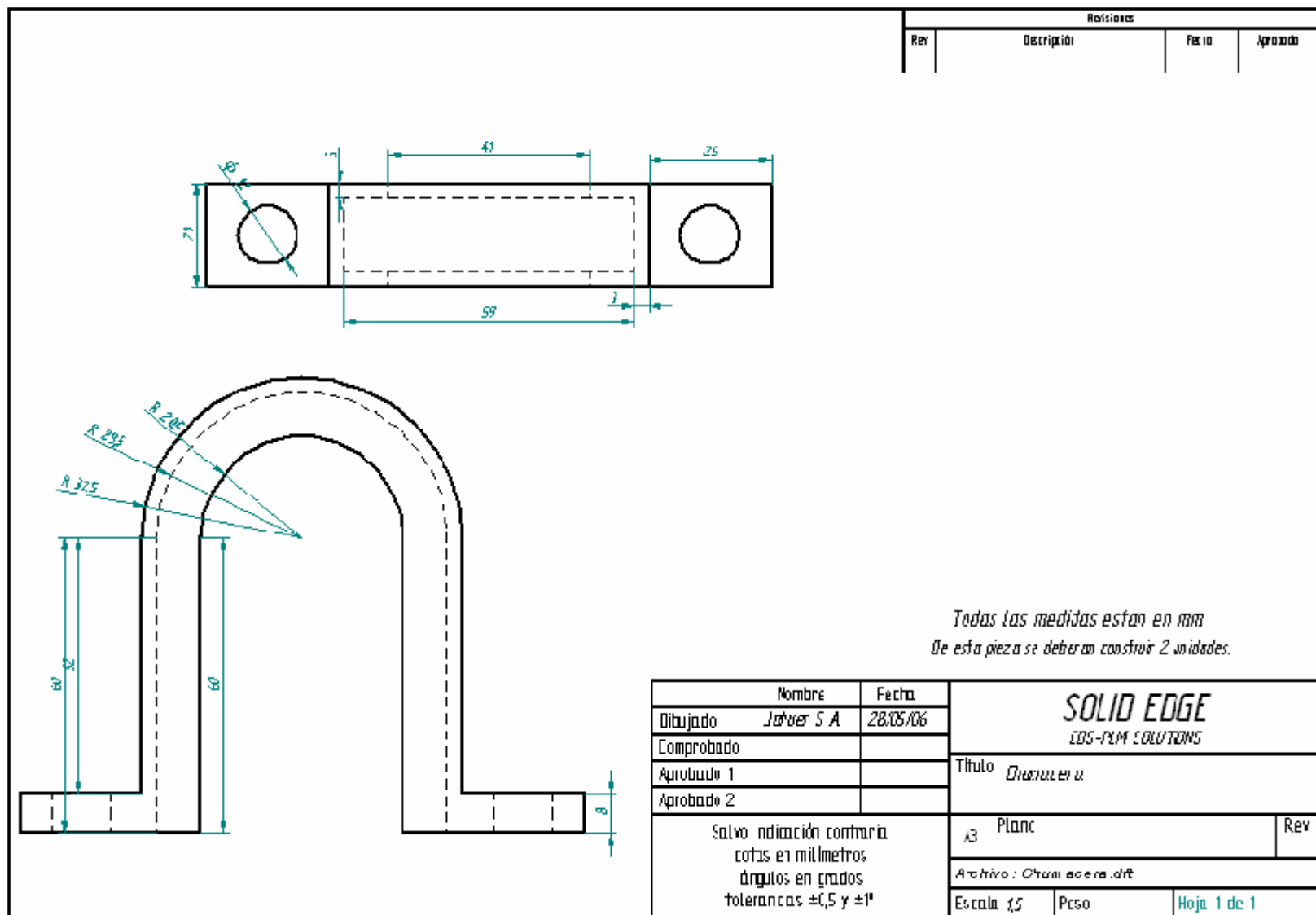
Figura 57. Especificaciones Shadow 200

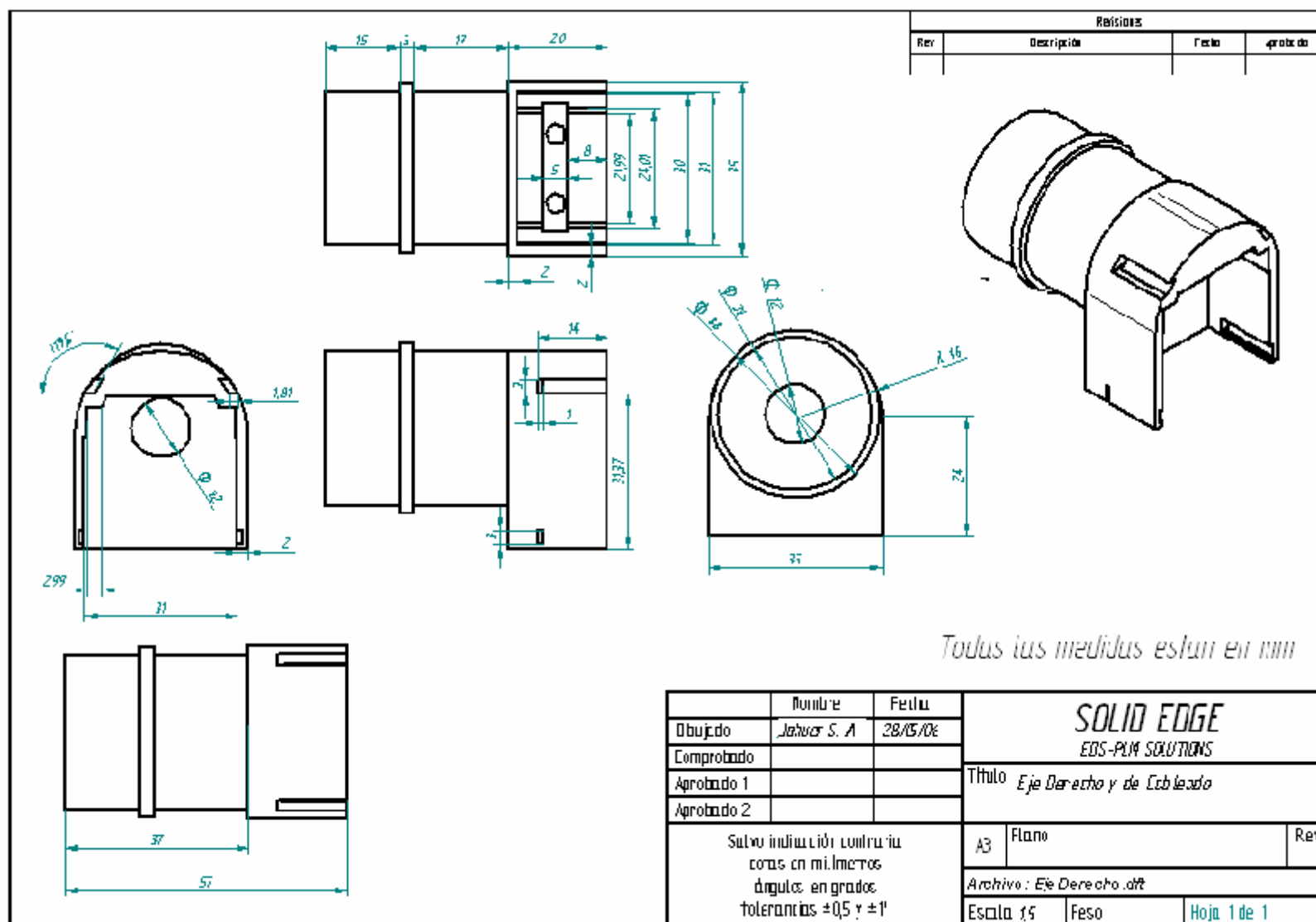


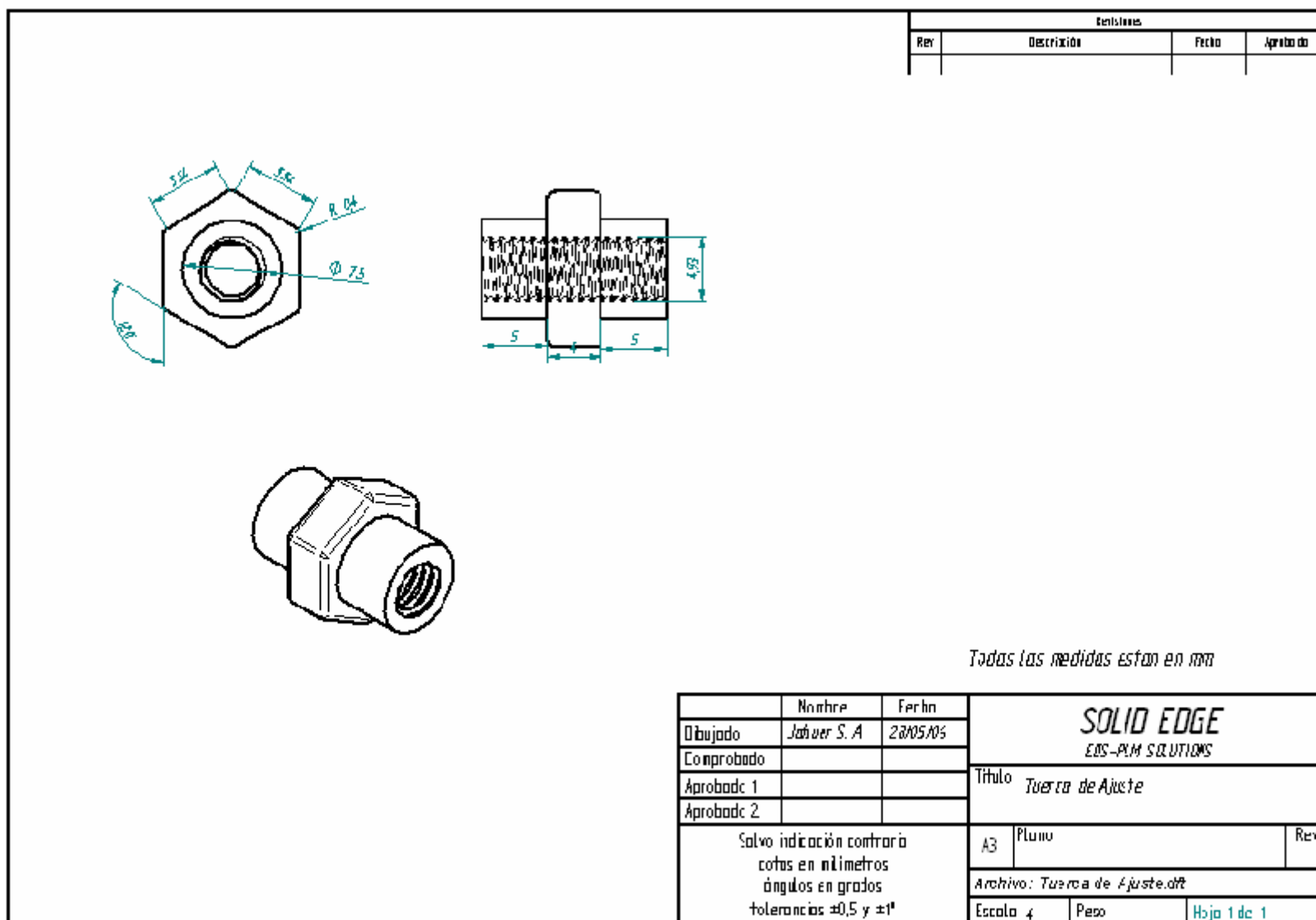
## Anexo 2. Planos mecánicos

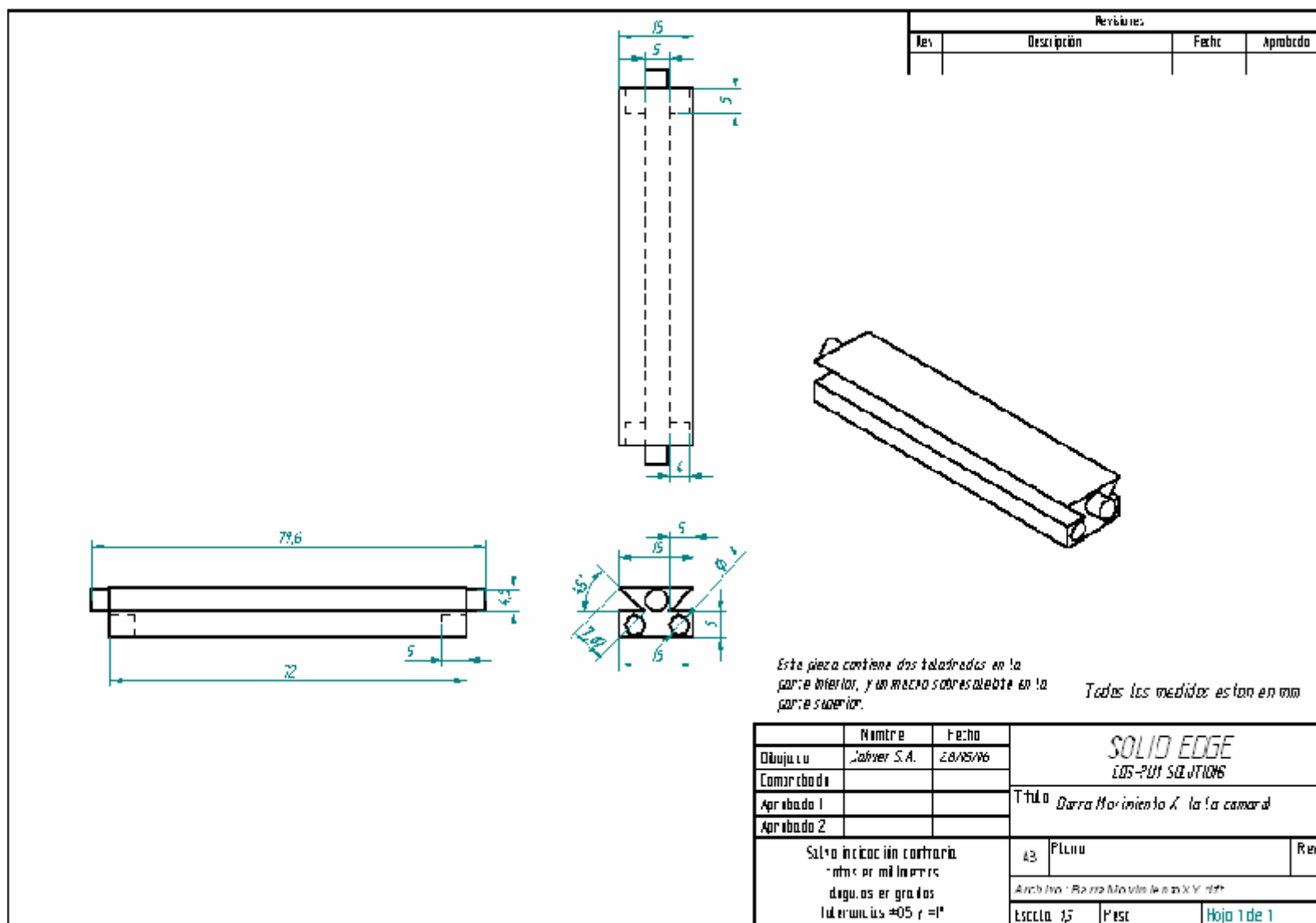


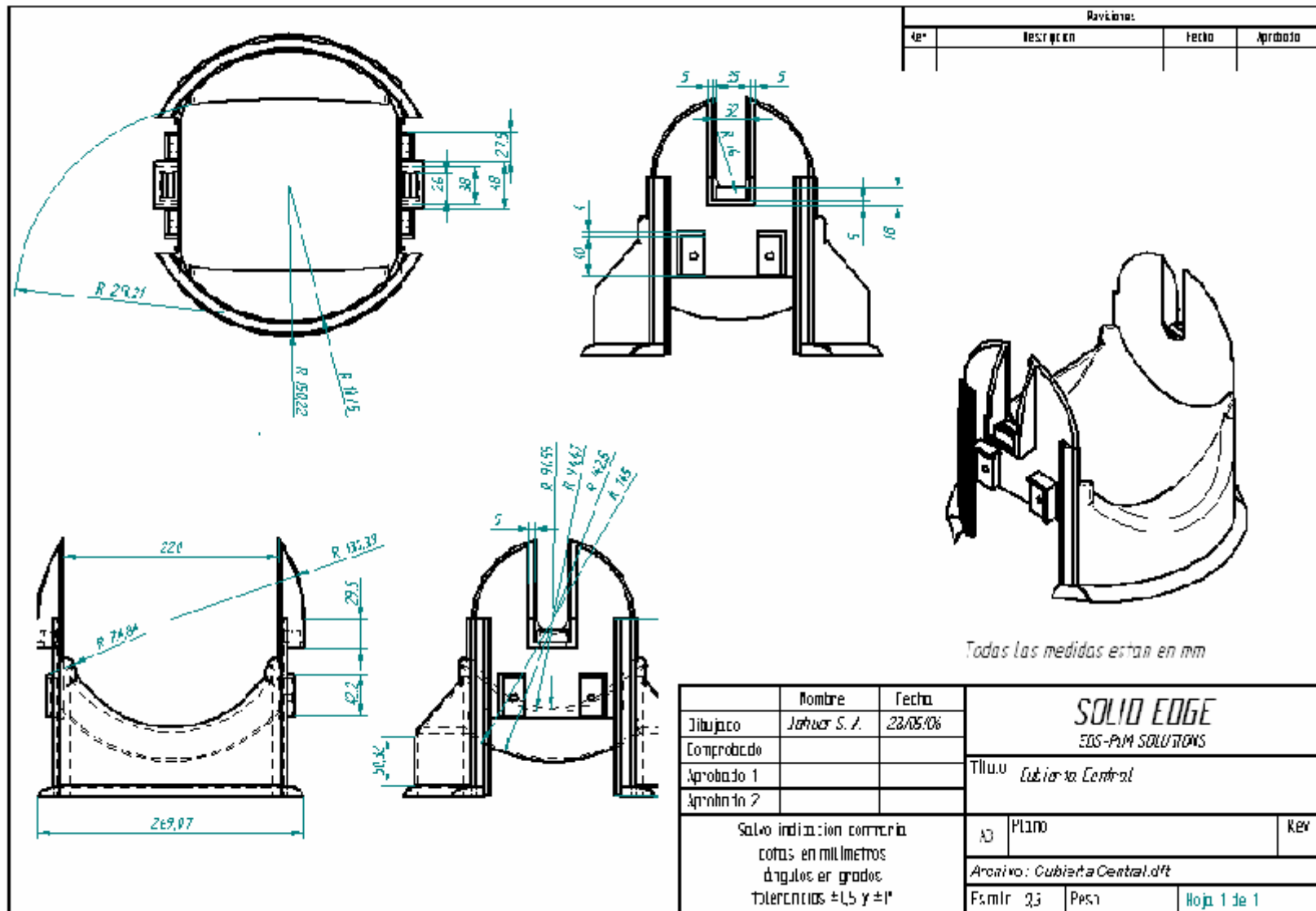




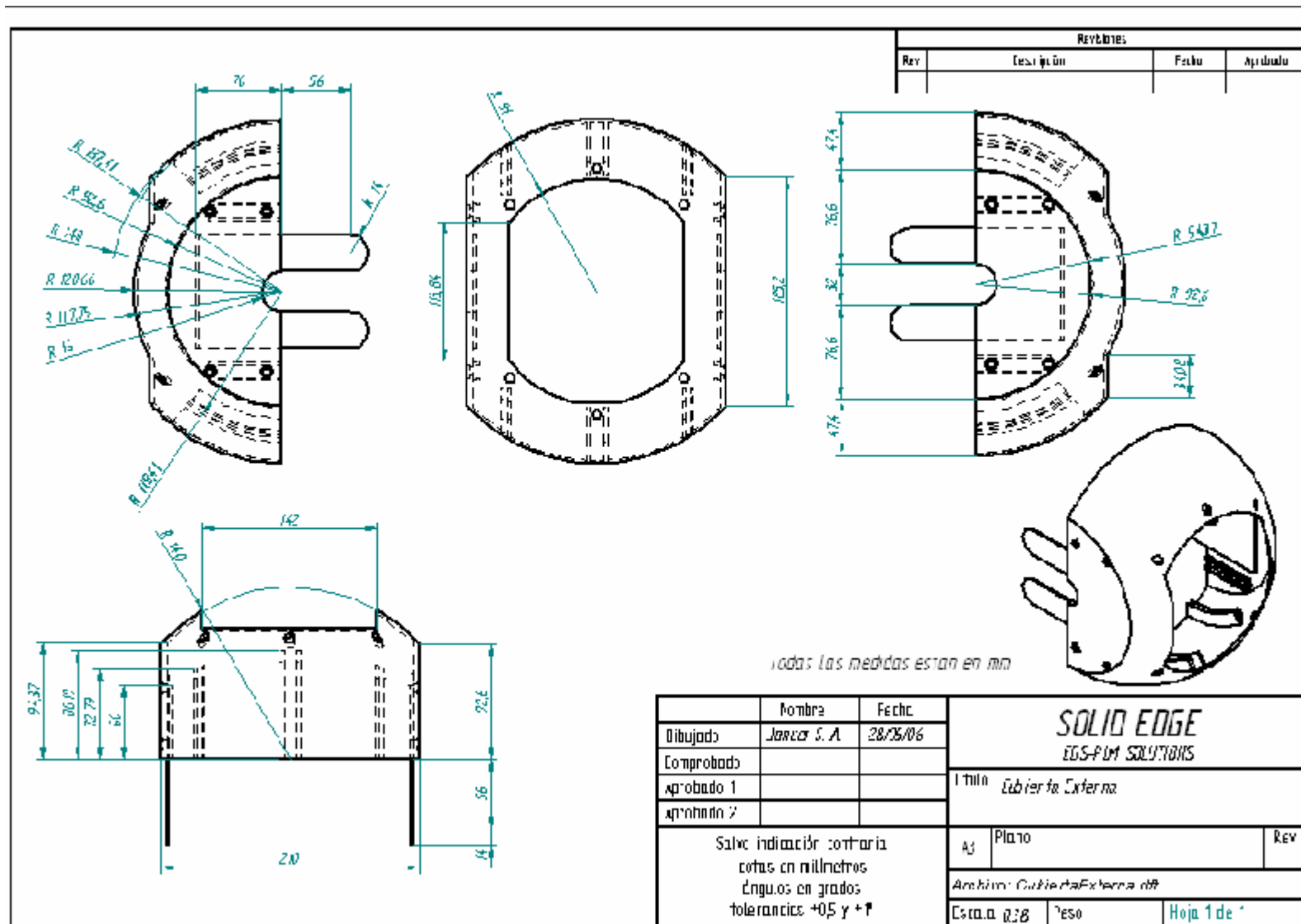


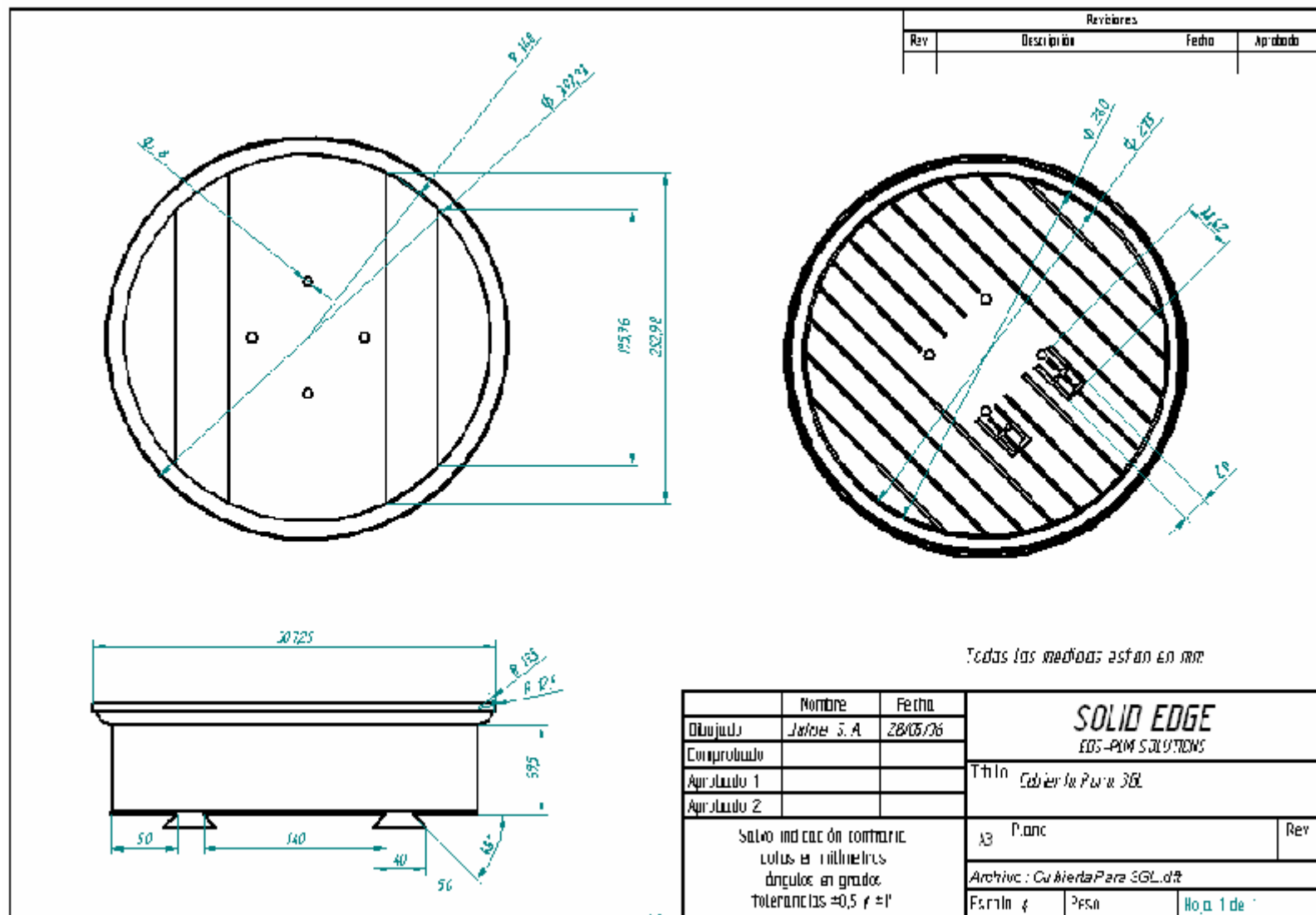


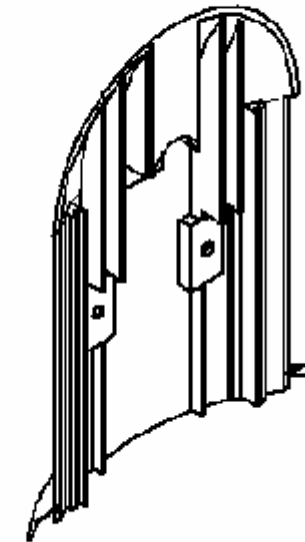
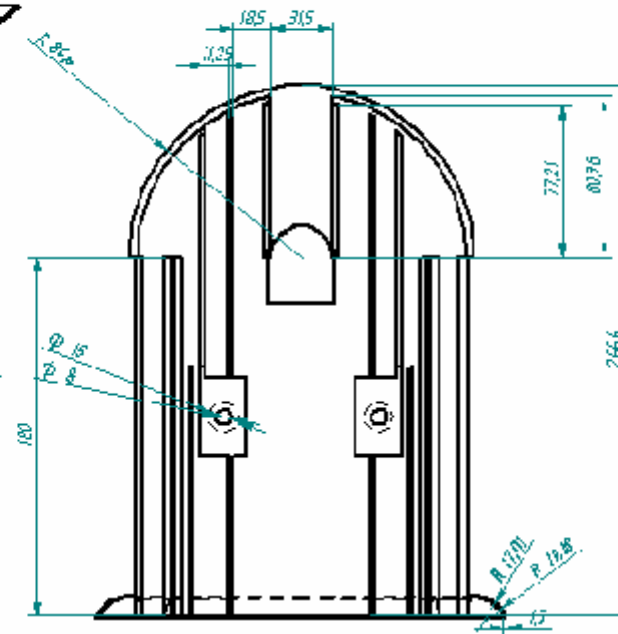
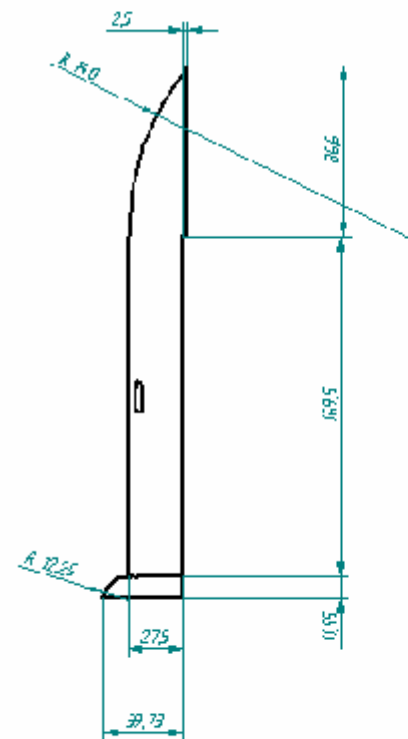









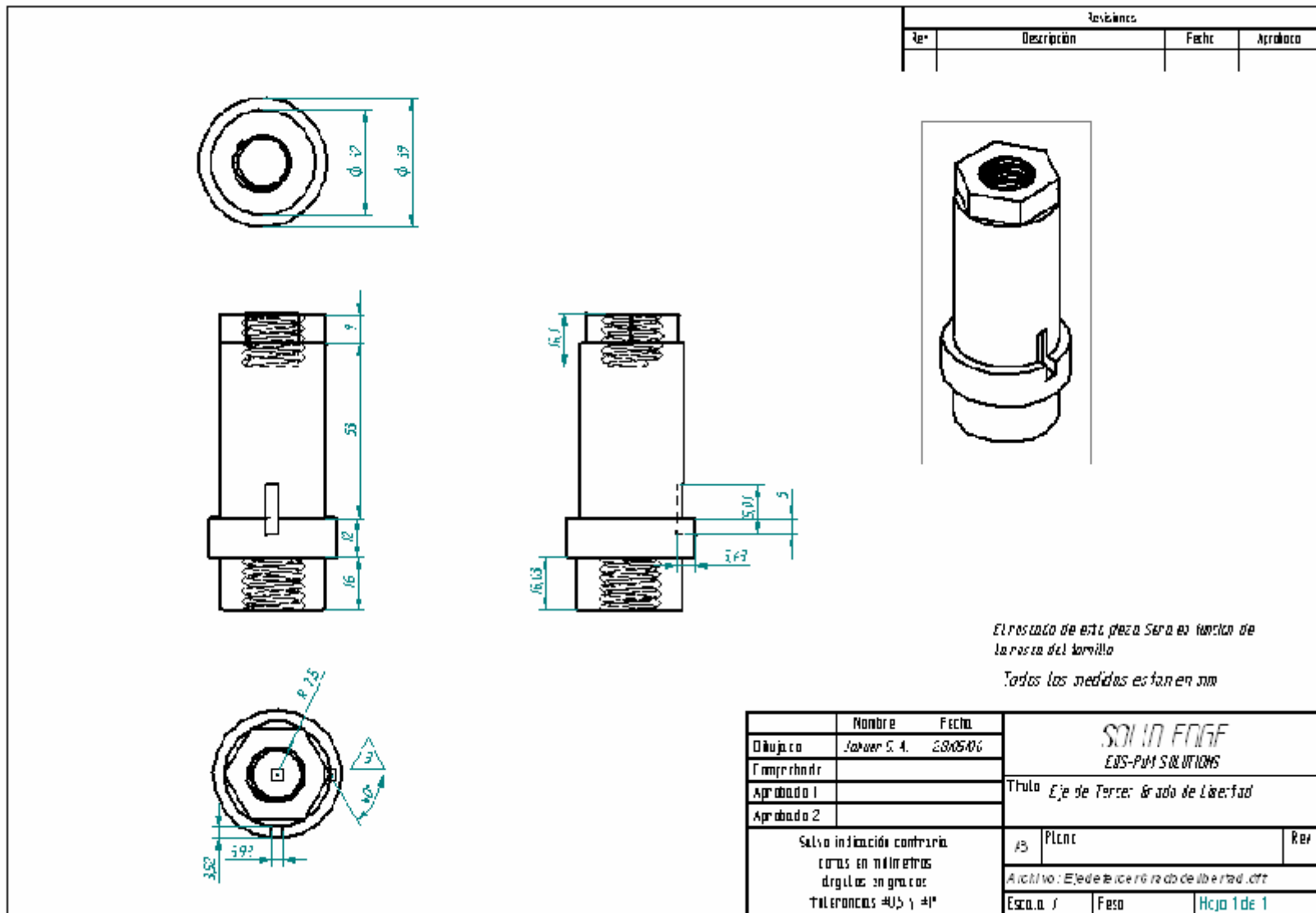


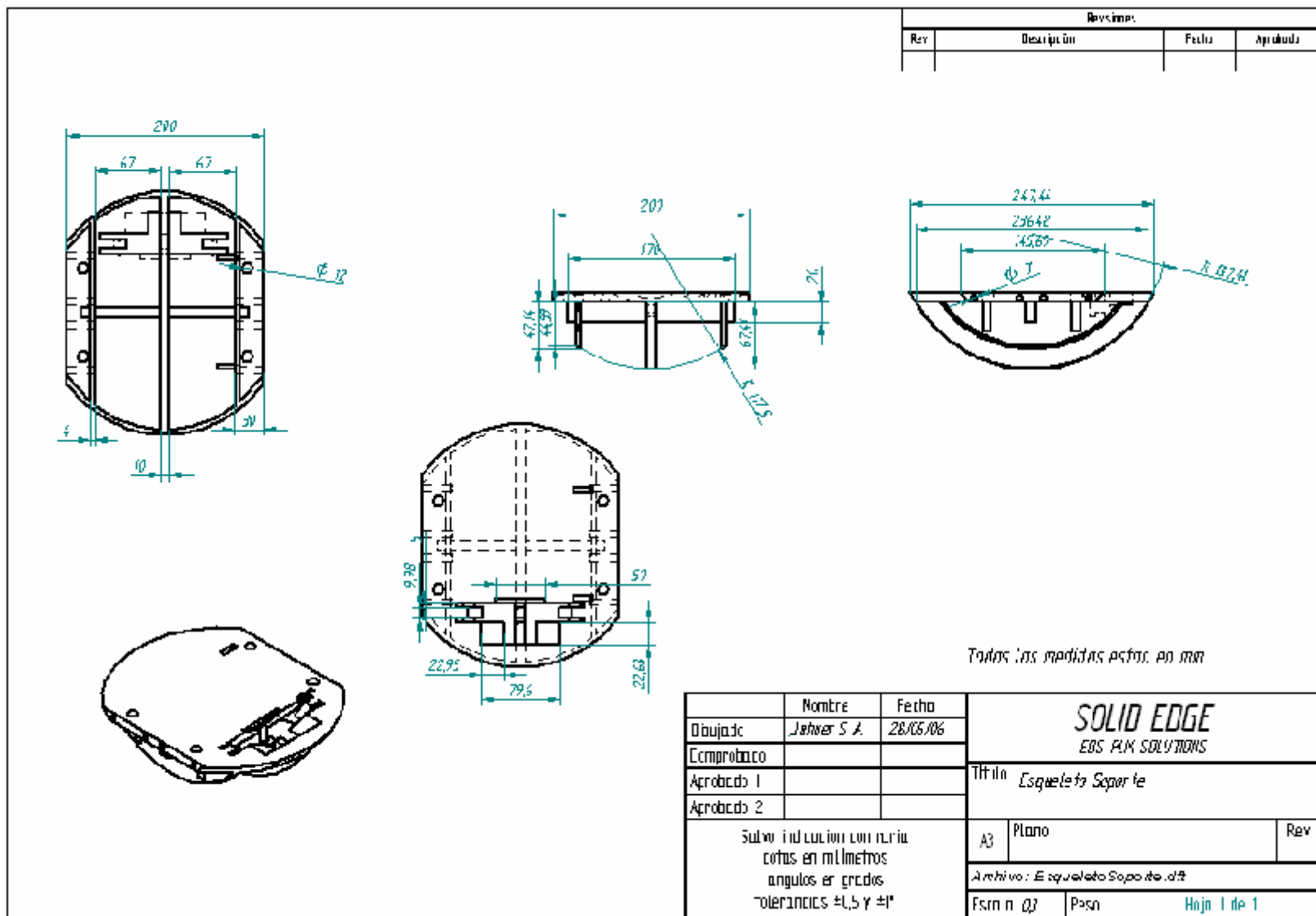


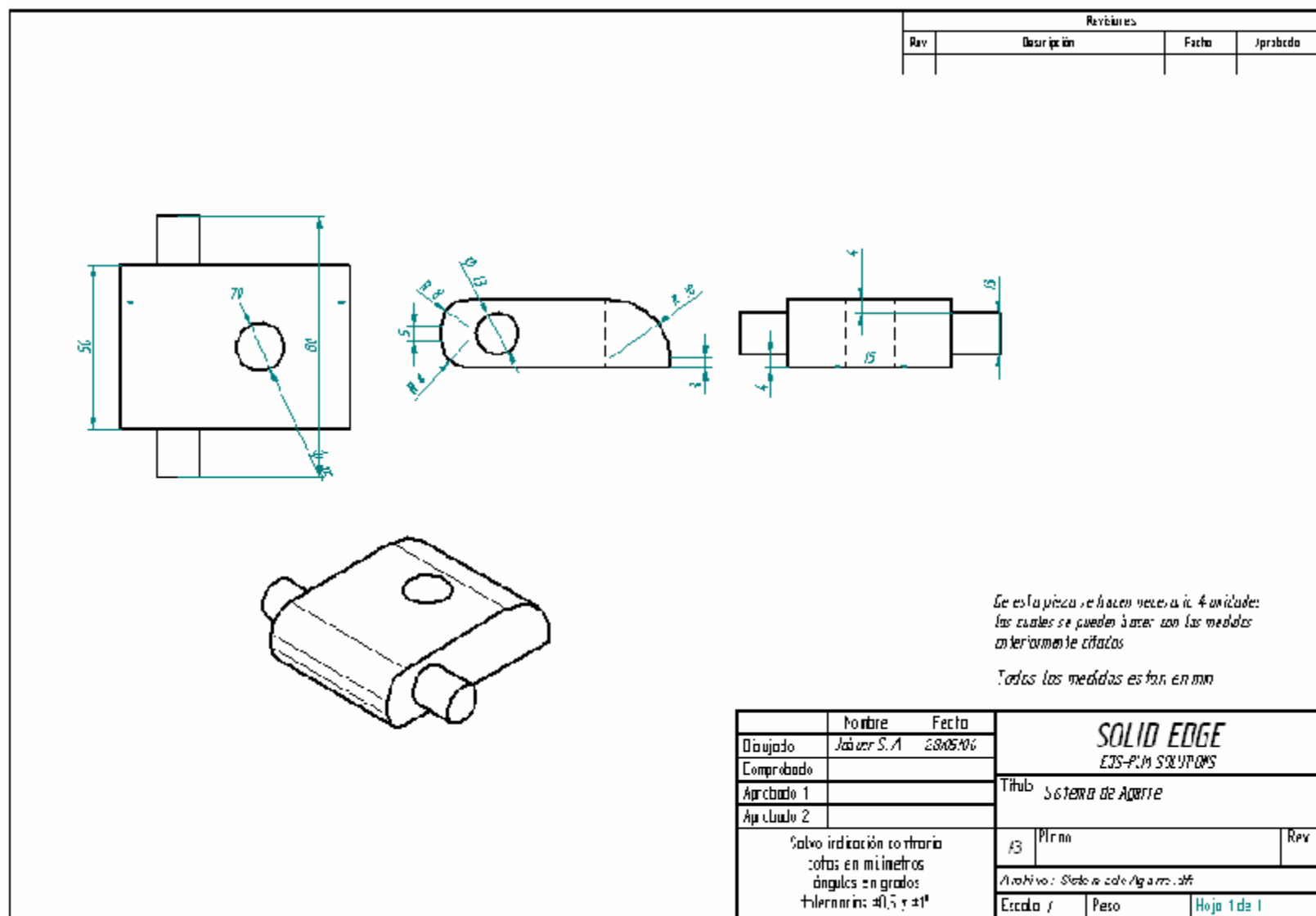
Debido a la simetría de la pieza las mismas dimensiones se pueden utilizar por la cubierta interna del lado opuesto

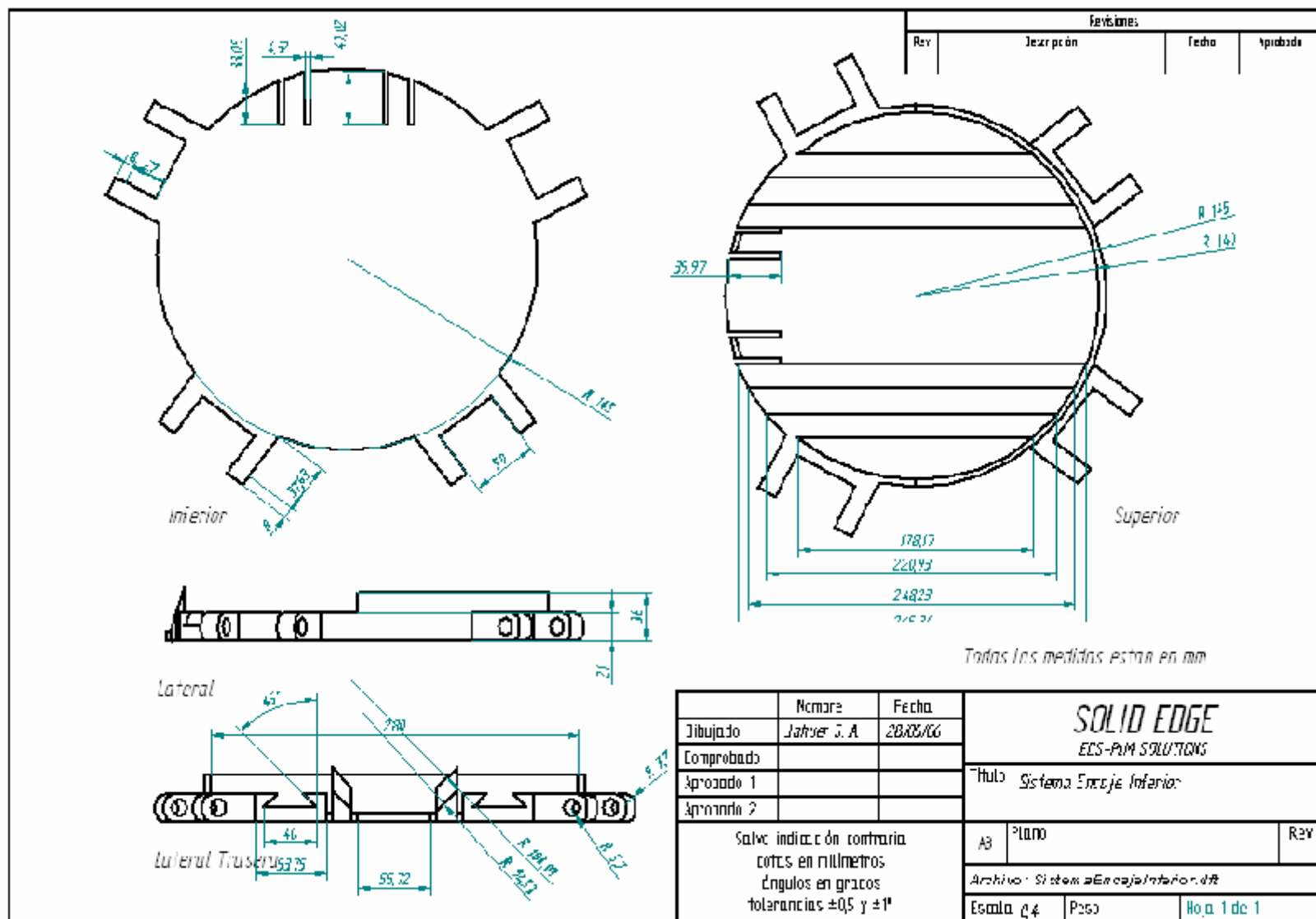
| Revisión |             |       |          |
|----------|-------------|-------|----------|
| Rev      | Descripción | Fecha | Aprobado |
|          |             |       |          |

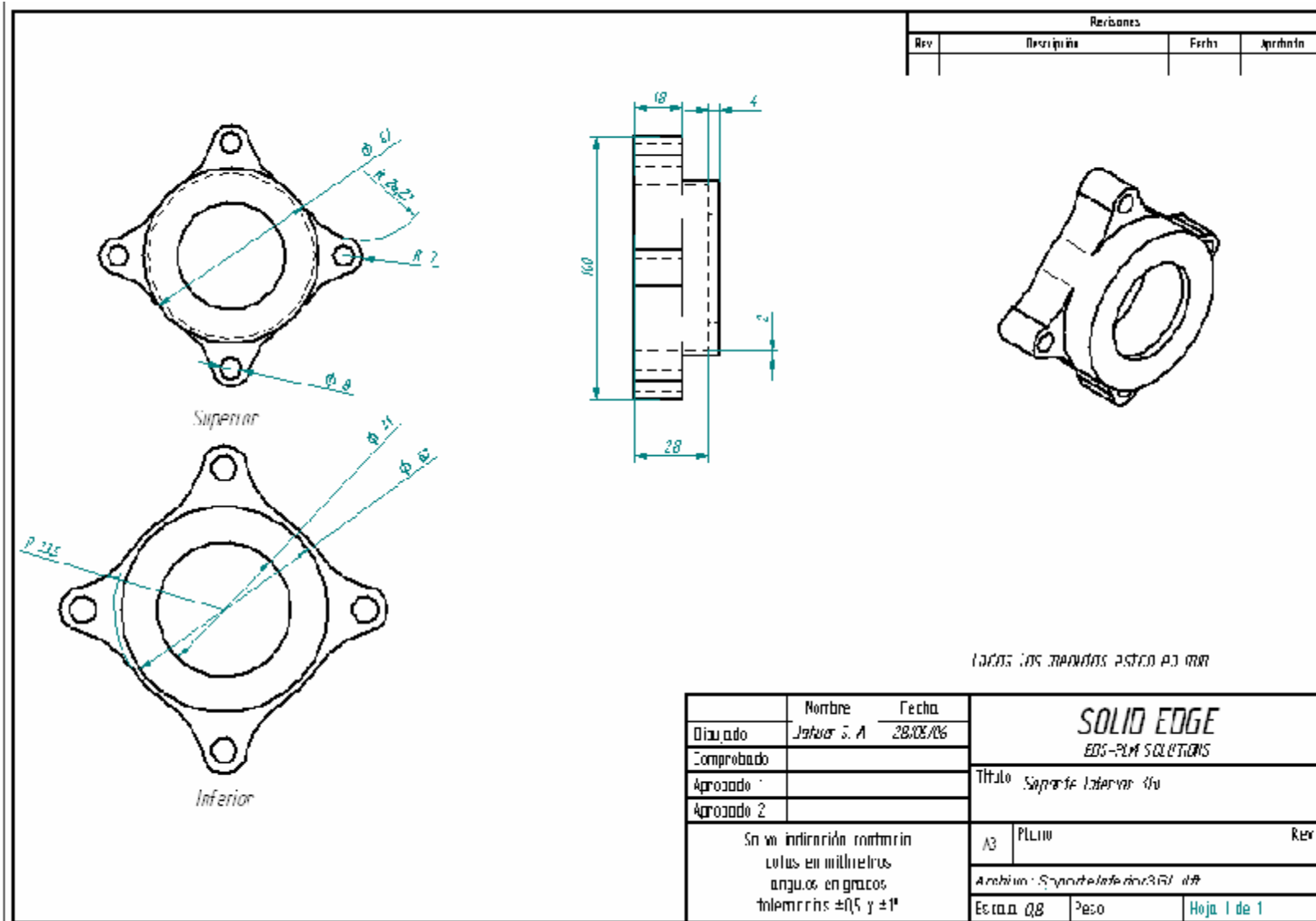
|   |              |          |   |       |             |
|---|--------------|----------|---|-------|-------------|
|   | Nombre       | Fecha    |  |       |             |
| Diseñado  | Adrián S. A. | 28/05/06 |   |       |             |
| Comprobado  |              |          |   |       |             |
| Aprobado  |              |          |   |       |             |
| Aplicado 2  |              |          | Título <i>Geometría lateral</i>   |       |             |
| Solvo indicar un conector a otros en milímetros<br>ángulos en grados<br>tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1$ |              |          | A3  | Plano | Rev         |
|   |              |          | Archivo <i>Cabinera lateral.a3</i>  |       |             |
|   |              |          | Escala <i>0,5</i>   | Pesc  | Hoja 1 de 1 |
|   |              |          |   |       |             |



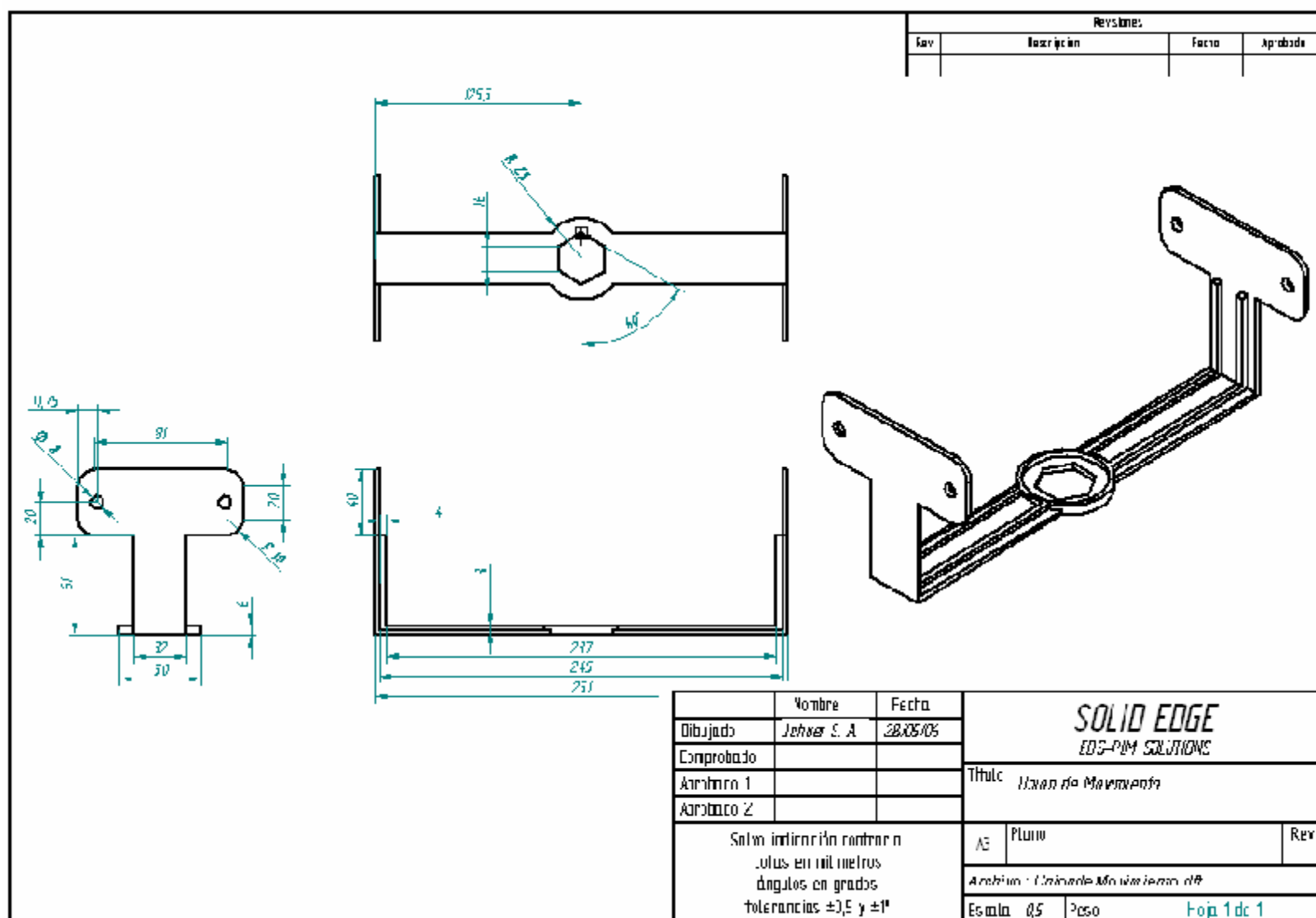


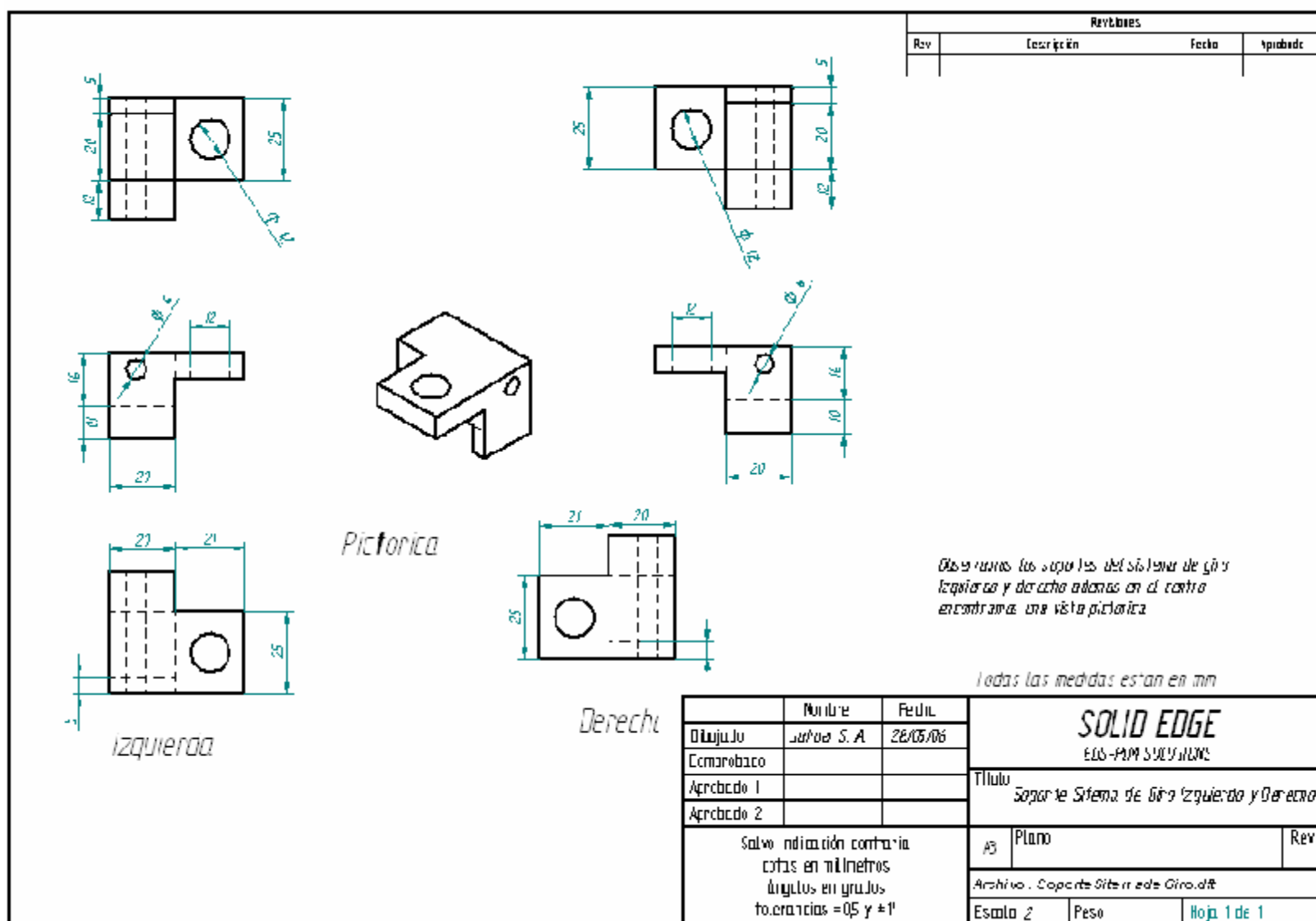






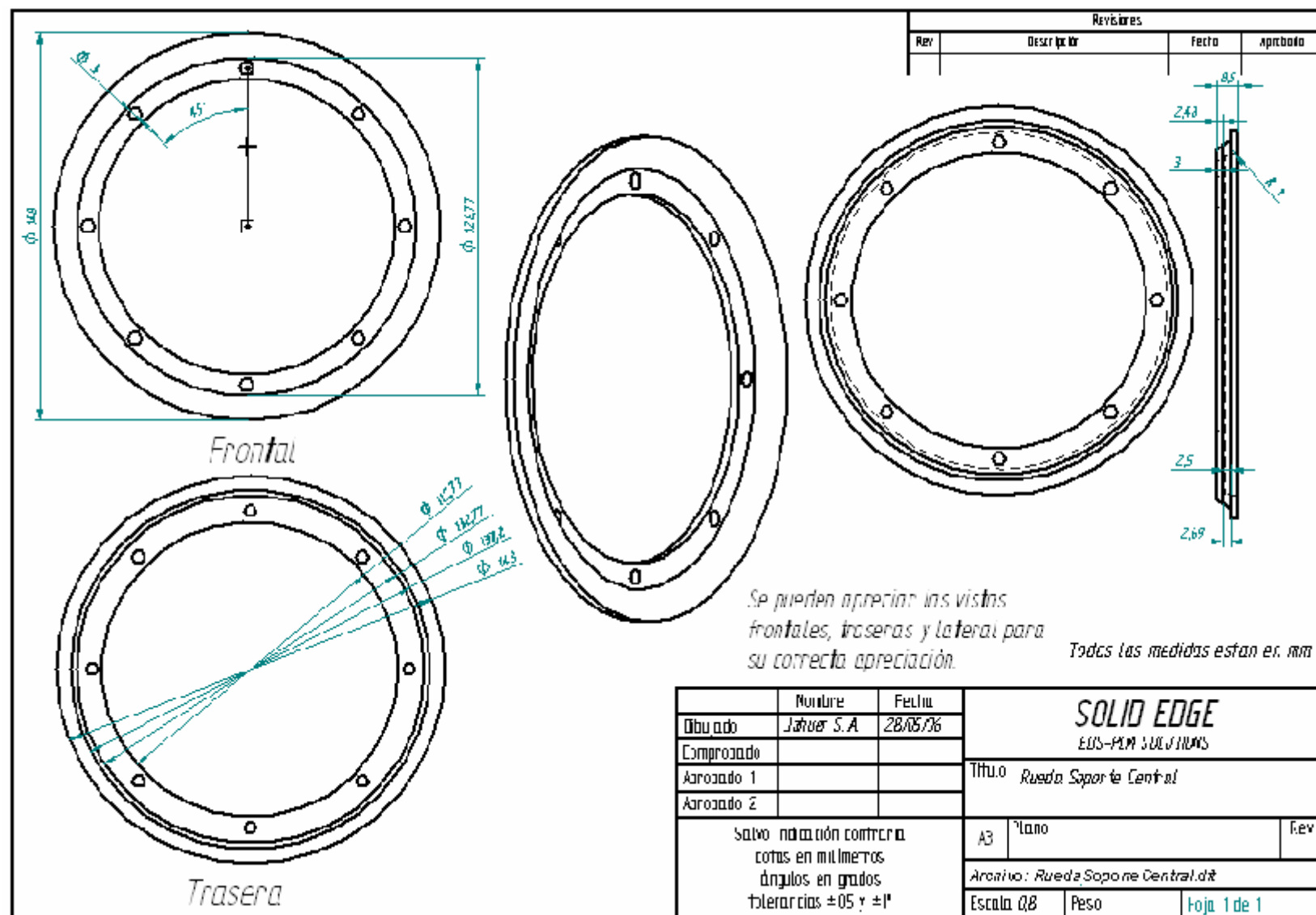


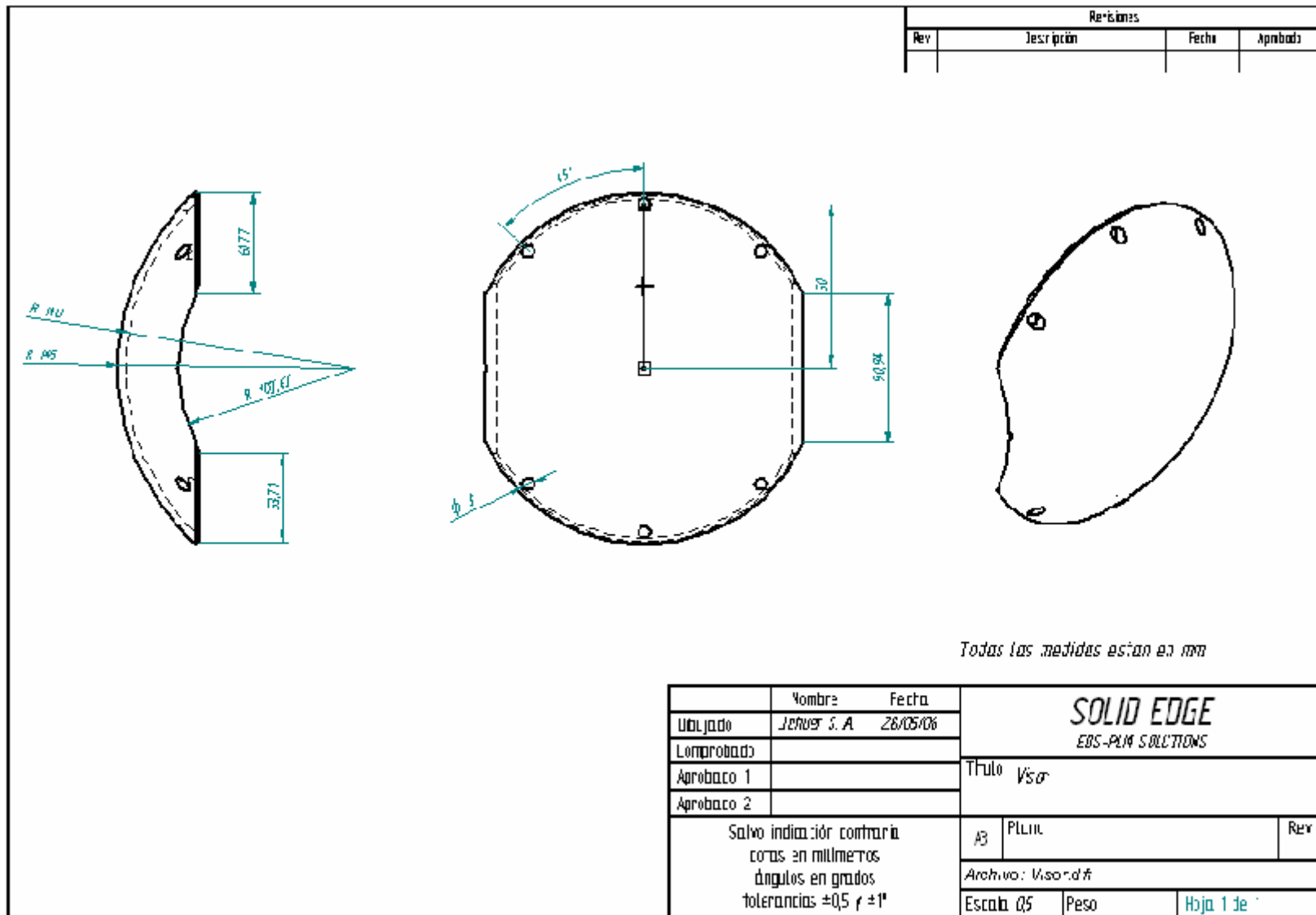




Todas las medidas están en mm

139





### Anexo 3 Formato Ifac

#### “DISEÑO DE SISTEMA CARDÁNICO PARA MOVIMIENTO DE MICRO CÁMARA CON DOS GRADOS DE LIBERTAD”

**Yolima Gustin Franco.**

[volgusfran@hotmail.com](mailto:volgusfran@hotmail.com)

**Jahuer Smith Arbelaez**

[Ja1010010@gmail.com](mailto:Ja1010010@gmail.com)

*Universidad Autónoma de Occidente*  
*División de Ingenierías – Ingeniería Mecatrónica*  
**Calle 25 # 115-85, kilómetro 2 vía Cali-Jamundí**  
*Cali, Colombia*

**Abstract:** En la actualidad los UAVs equipados con cámara de visión FLIR poseen múltiples aplicaciones entre las que se pueden destacar: investigación meteorológica y ambiental, evaluación de recursos naturales, detección y seguimiento de fuegos forestales, o de vertidos contaminantes, vigilancia de líneas eléctricas, oleoductos y zonas de alto valor, fumigación de cultivos, etc. En este momento el control de estos sistemas se realizan por dos o más personas desde una estación de control en tierra, una de ellas se encuentra al mando de la posición y visión de la cámara y la otra a mando de los controles del aeromodelo.

**Keywords:** Mecatrónica, UAV, realidad virtual, Flir, Gimbal mount

### 1. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos involucran la creación de nuevas necesidades y estas a su vez obligan a rediseñar o innovar la tecnología existente.

Las innovaciones tecnológicas contribuyen a una mejor calidad de vida para las personas; estas implican nuevas necesidades que se

deben de suplir en diferentes ramas de la vida cotidiana como lo son el trabajo la educación, la recreación, la salud, la seguridad, comunicación y el entorno.

En la actualidad los aeromodelos han incursionado con gran auge en el campo militar, ambiental, industrial; con el reconocimiento de fallas estructurales en zonas de difícil

acceso, ubicación y captura de imágenes de personas, bases militares y desastres naturales entre otros.

## 2. AEROMODELOS CON FLIR

Debido a los peligros que se exponen los pilotos en lugares de alto riesgo se crearon los UAV que significa **Unmanned Aerial Vehicles** o vehículos aéreos no tripulados, en los que el “piloto” no está a bordo del avión sino en la Estación de Control (EC) desde la que se prepara y dirige la misión y en la que se reciben los datos de los sensores embarcados en el UAV.

Las cargas útiles (CU) a bordo del UAV pueden ser de diferentes tipos de acuerdo a la misión o misiones que se desea que el UAV ejecute. Las misiones más extendidas en la actualidad son las de Reconocimiento y Observación, para lo cual los UAVs van equipados con cámaras CCD en el espectro visible y cámaras en el Infrarrojo (FLIR) y en los sistemas más sofisticados con Radar de Apertura Sintética (SAR).

Los usos potenciales civiles de los UAVs son muy numerosos: investigación meteorológica y ambiental, evaluación de recursos naturales, detección y seguimiento de fuegos forestales, o de vertidos contaminantes, vigilancia de líneas eléctricas, oleoductos y zonas de alto valor, fumigación de cultivos, etc.

### 2.1. Productos Competidores.

Durante el proceso de búsqueda de productos similares o competidores nos dimos cuenta que en la actualidad en Colombia no existen aeromodelos que trabajen con un sistema de cámara flir totalmente construido en nuestro país pues los existentes en el mercado son israelitas.

*Shadow 200 TUAV* es hasta el momento la competencia más cercana de la cual tenemos conocimiento relativo. Esta empresa nació en estados unidos y sus aeromodelos han incursionado con un gran auge en el campo militar a pesar de sus múltiples aplicaciones, pues algunos de estos han formado parte de los asaltos y guerras mundialmente reconocidas con lo fue la guerra de Irak.



Fig. 1. Aeromodelo Shadow 200 TUAV.

### 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

El objetivo principal en este trabajo consiste básicamente en el desarrollo del control de movimiento de una cámara, y diseño de un mecanismo de 3GL que soporta dicha cámara que se encuentra montada en un "Gimbal Mount" o sistema cardánico dentro de un aeromodelo radio controlado.

Para ello, es necesario utilizar las herramientas de la Ingeniería en muchos de sus campos, incluyendo el análisis de sistemas, el control automático, la instrumentación, la electrónica, la mecánica, el diseño eléctrico y la realidad virtual. Todas estas áreas se combinan y toman parte en este trabajo, dando como resultado un trabajo abierto en el sentido de aceptar mejoras y permitir el análisis de diferentes mecanismos de Control Automático en un sistema real tan interesante.

#### 3.1. Descripción del producto

El dispositivo que se diseñó es un mecanismo de sujeción de una video cámara con tres grados de libertad para un aeromodelo con comunicación inalámbrica.

La comunicación con el usuario es de manera directa y bidireccional por medio de un sistema de comunicación inalámbrica. Una de las grandes ventajas de este sistema cardánico comparado con otros en el mercado, es que esta hecho con tecnología colombiana.

El sistema cardánico consta de:

- § *Sistema Alineación:* Este sistema es el encargado de proveer al sistema cardánico de capacidades de alineación y fijación, como es el caso de los tonillos, sujetadores que ayudan a la fijación del mecanismo.
- § *Sistema de transmisión:* El sistema cardánico posee un sistema modular de mecanismos y actuadores que permiten los tres movimientos del sistema cardánico.
- § *Sistema de Detención:* Los sensores piezometricos, permiten al usuario conocer la posición de la video cámara independientemente de la posición del aeromodelo.
- § *Sistema de Programación:* Este es sin duda alguna el sistema mas importante del dispositivo, porque permite a la sistema cardánico tener una flexibilidad y una robustez al momento de realizar algún cambio en la configuración de los movimiento, del control de zoom de la video cámara.
- § *Chasis:* Este es sin duda el mas importante pues tiene la finalidad de dar soporte al mecanismo y permitir la integración geométrica de las partes



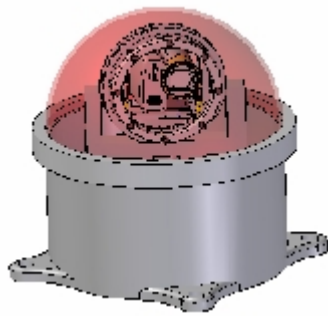


Fig. 2. Concepto básico Sistema Cardánico.

### 3.2. Ventajas

El sistema cardánico para el movimiento de la video cámara presenta grandes ventajas frente a los demás en el mercado.

- § Acción de control para cada grado de libertad.
- § Opera de forma totalmente autónoma.
- § Además de un fuerte impacto visual, entrega la visualización de la posición actual.
- § Puede ser reconfigurado y actualizado con facilidad frente a cambios.
- § El sistema de movimiento puede ser modificado para mover cualquier tipo de video cámara.

## 4. CONCEPTO DESARROLLADO

Después de realizar un proceso estructurado de diseño en el cual se inicia teniendo en cuenta las necesidades tanto del cliente como del usuario, luego se realiza un Benchmarking competitivo con otros dispositivos similares en el mercado, se generan unos conceptos que cumplan con las especificaciones del cliente y del usuario, se selecciona el concepto mas adecuado, se le practican una serie de pruebas al concepto seleccionado, luego se le realiza el diseño industrial y el diseño para manufactura donde por ultimo se efectúa un diseño detallado al prototipo ya diseñado. Como resultado obtuvimos el siguiente prototipo:

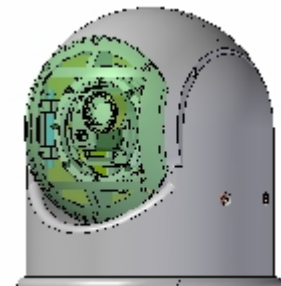


Fig. 3. Prototipo valla publicitaria mecatrónica

### 4.1. Tipos de engranajes.

El sistema cardánico posee engranajes helicoidales de tornillo sin fin corona, helicoidales debido a que este reduce el ruido y las cargas dinámicas, lo que representa una mejora en el trabajo de engrane, ya que de este modo la presión transmitida resulta aplicada de

manera continua y progresiva, permitiendo la transmisión de mayores potencias puesto que aumentan la fuerza y la velocidad transmitidas.

Además es posible obtener piñones de menor número de dientes que en las ruedas de dientes rectos, lográndose una relación de transmisión más elevada. Y dentro de los engranajes helicoidales el de Tornillo sinfín y rueda helicoidal ya que este mecanismo sirve para transmitir el movimiento entre ejes que forman en el espacio un ángulo cualquiera y es utilizado cuando se exige una gran reducción de velocidad en un espacio limitado y una marcha silenciosa.

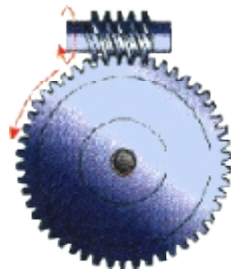


Figura 4. Engranaje helicoidal.

#### 4.2 Sistema de Rodamientos.

El sistema cardánico posee tres tipos de rodamientos uno de carga axial 6006 para soportar el peso de la esfera principal, uno de carga radial 30206 para soportar el eje principal y de esta forma el peso de la mayoría del sistema. y uno de carga mixta 51120 para alinear el eje principal y soportar el peso cuando esta en posición de prueba ( con la esfera principal hacia arriba con respecto a la

tierra, la posición normal de trabajo es con la esfera principal hacia abajo con respecto a la tierra).

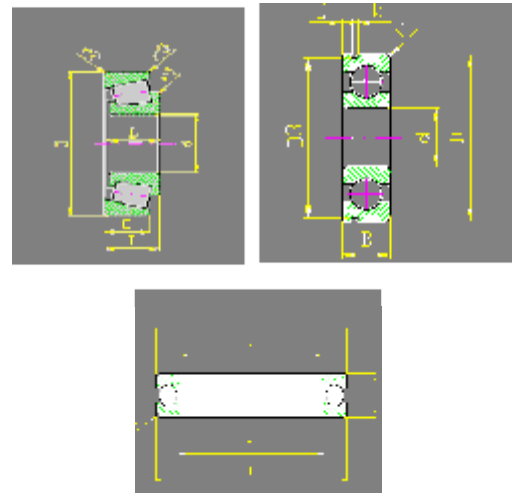


Figura 4. Rodamientos del sistema

#### 4.3 Sensores

En el sistema cardánico se utilizaron sensores piezorresistivos, los cuales nos garantizan precisión en el muestreo de la posición actual. Dichos sensores se implementaron para el control del movimiento de los 3 grados de libertad; ya que en los sensores incrementales se dificulta la posición del sistema respecto a un punto guía.

Ahora para asegurar la estabilidad de la cámara se decidió implementar un acelerómetro para captar los cambios de posición del avión sin que afecte la posición de este a la cámara,

realizando una diferencia entre las referencias del usuario y del avión.



Figura 5. Acelerómetro Triaxial CXL04M3 y sensor piezorresistivo Piher A15

## CONCLUSIONES

- § Se desarrollo un método de diseño estructurado como plataforma del proyecto y base para el desarrollo a nivel industrial del dispositivo basado en las necesidades del cliente, interpretadas en atributos medibles en el dispositivo.
- § La finalidad en el desarrollo de estas fases es determinar un mercado de oferta y demanda y hacer una innovación tecnológica que nos permita competir con un dispositivo que provea seguridad pero desde un paradigma diferente.

## RECONOCIMIENTOS

Especial agradecimiento a la  
Fuerza Aérea Colombiana

especialmente al centro de investigación CITA a cargo del señor Jaime Aguilar por su colaboración y interés frente al proyecto.

## REFERENCIAS

BEER, Ferdinand; RUSSELL, E. Mecánica Vectorial para ingenieros: Estática. 6 ed. Madrid: McGraw Hill, 1997. 539 p.

BEER, Ferdinand; RUSSELL, E. Mecánica Vectorial para ingenieros: Dinámica. 6 ed. Madrid: McGraw Hill, 1997. 438 p.

ENTREVISTA con Jaime Aguilar, Ingeniero Mecánico. Santiago de Cali, Mayo 4 de 2006.

ENTREVISTA con Carlos Rafael Pinedo, Ingeniero Electrónico. Santiago de Cali, Mayo 14 de 2006.

NORTON, Robert. Diseño de Máquinas: Diseño engranajes. México: Prentice Hall, 999. 135 p.

## Anexo 4. Aclaraciones

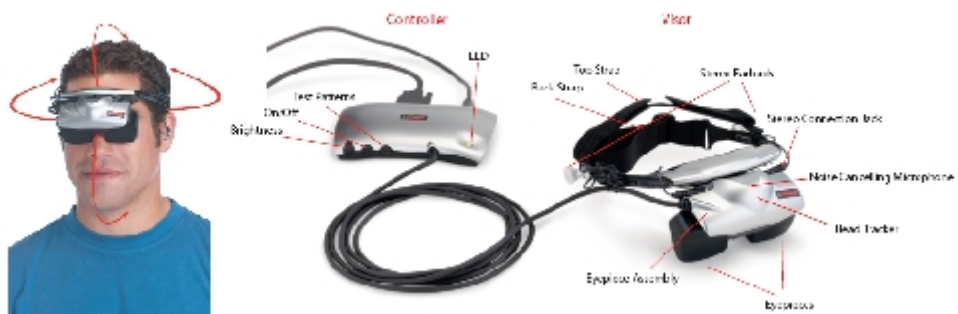
Al inicio del proyecto se habían planteado como objetivos específicos los siguientes:

- Implementar un control para cada grado de libertad.
- Diseñar el sistema de soporte de la video cámara según las necesidades del aeromodelo de peso, tamaño y resistencia aeronáutica.
- Enviar y recibir las señales de control o datos desde la estación de mando a través de un medio de comunicación inalámbrica con el mayor alcance posible.
- Implementar un sistema de realidad virtual estableciendo una interfase usuario maquina para direccionar el objetivo de la visión de la cámara procesando los datos a través de un PC.
- Realizar un análisis de costos del proyecto
- Desarrollo del proceso tecnológico de fabricación.

De los cuales el objetivo cuatro no se pudo desarrollar debido a problemas ajenos al grupo de diseño, pues los equipos de realidad virtual con los que se pretendía desarrollar el proyecto no llegaron al país durante el tiempo de duración definido para la realización del proyecto.

Cabe mencionar que la selección de dichos equipos se realizó con anterioridad al inicio del proyecto, el casco de realidad virtual seleccionado fue Z800 3DVisor de la compañía Emagin.

Figura 58. 3DVisor



## Anexo 5. Manual de Mantenimiento

### MANTENIMIENTO DE RODAMIENTOS

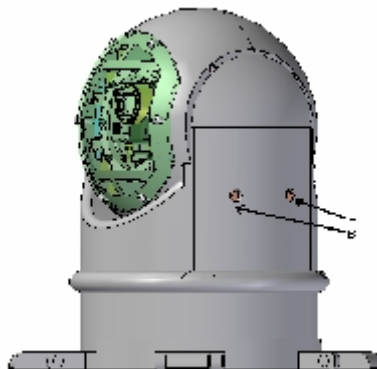
La suciedad es la principal causa del daño abrasivo de los rodamientos, que lleva a la reducción de su vida útil. Es por esto que su limpieza es muy importante.

¿Cuándo limpiarlos? Si cuando se hacen girar las ruedas se sienten vibraciones o se escucha ruido, es probable que sea hora de limpiar los rodamientos pero se recomienda limpiarlos cada 6 meses o dependiendo de su Uso o abuso cada 3 meses. Si alguna bolilla o la superficie de los canales de rodadura están deteriorados por desgaste abrasivo o corrosión, no podrá hacerse nada para repararlo. Pero según el grado de deterioro, se lo podrá seguir usando por un tiempo más antes de reemplazarlo por uno nuevo. Llegado el caso, siempre podrá reemplazar los rodamientos de a uno o conforme los necesite.

No son pocos los que tienen la no muy sana costumbre de extraer los rodamientos trabándolos en el extremo del eje y tirando y forcejeando de la rueda hasta lograr su objetivo, haciendo esto, correrá el riesgo de dañar la rosca del eje, la rueda (deformando su perímetro interno) o el rodamiento mismo. Es por esto que recomendamos la utilización de un extractor de rodamientos y que esto lo realice un profesional de este campo. Ahora para llegar a los rodamientos de nuestro diseño recomendamos los siguientes pasos:

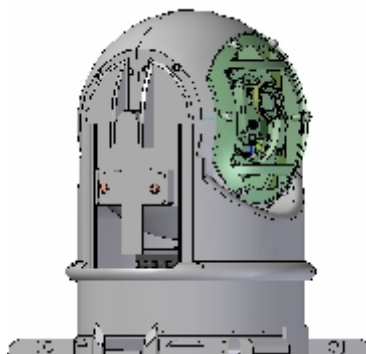
Paso 1. Para mantenimiento del rodamiento 6006N, retire los tornillos A y B de la cubierta lateral derecha e izquierda.

Figura 59. Paso1



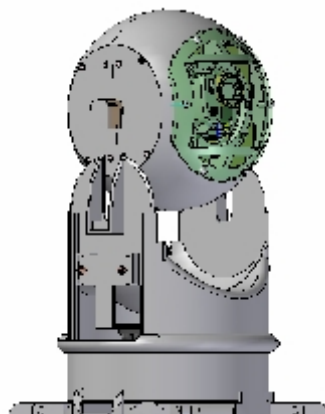
Paso 2. Retire las cubiertas laterales de ambos lados.

Figura 60. Paso 2



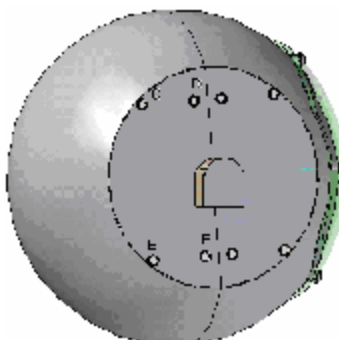
Paso 3. Levante la esfera central con un movimiento uniforme.

Figura 61. Paso3



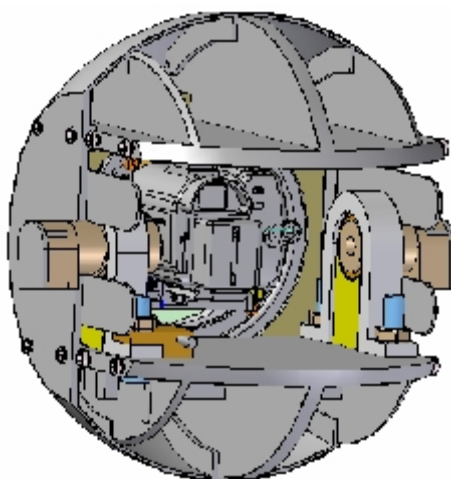
Paso 4. Retire los tornillos C, D, E y F de la esfera a ambos lados.

Figura 62. Paso 4



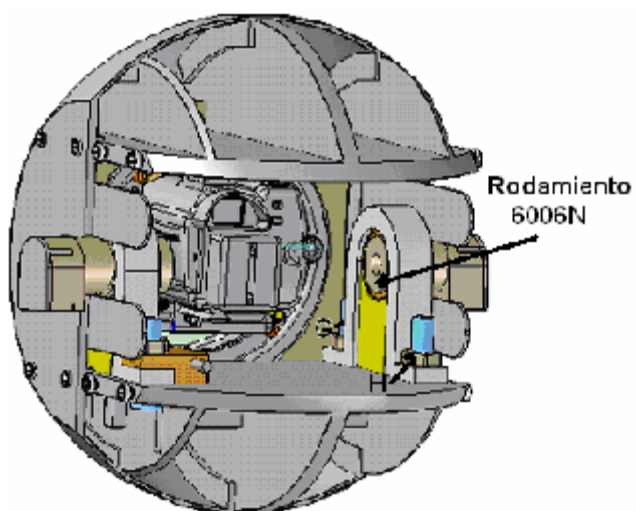
Paso 5. Retire la cubierta externa trasera.

Figura 63. Paso 5



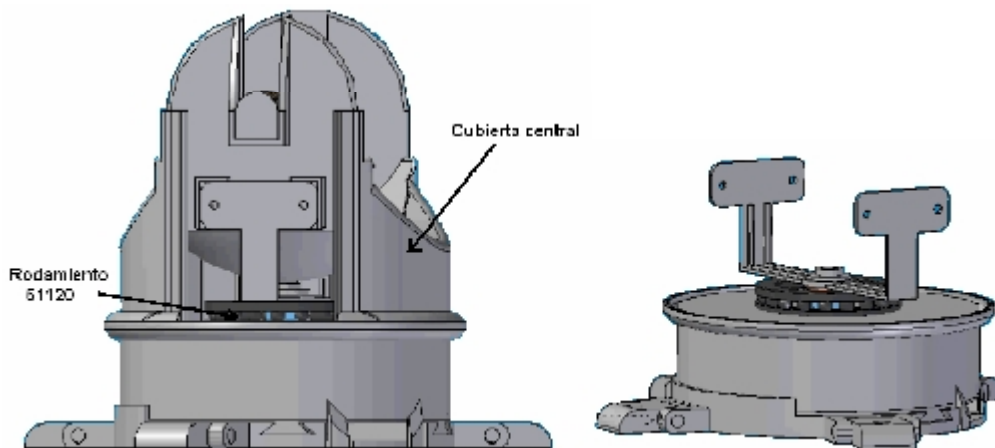
Paso 6. Obsérvese el rodamiento 6006N, que solo puede ser retirado al aflojar los tornillos G y H que ajustan la chumacera a la estructura de soporte.

Figura 64. Paso6



Paso 7. Para mantenimiento del rodamiento 51120, repita los pasos 1, 2, 3 y retire la cubierta central haciendo fuerza hacia arriba para acceder al rodamiento.

Figura 65. Paso 7



**Limpieza de los Rodamientos:** Sumergir los rodamientos dentro de un recipiente y limpiar la suciedad con la ayuda de un cepillo pequeño (cepillo de dientes viejo). Si los rodamientos tuvieran protecciones removibles, éstos también deben ser limpiados junto con el aro retenedor.

Se recomienda repetir la limpieza 2 o 3 veces seguidas, para garantizar que no queden impurezas en el interior del rodamiento **DEJAR SECAR BIEN** antes de lubricarlos.

Comprobar que todos los rodamientos giren libremente sin vibraciones. Repitiendo lo dicho anteriormente: Si alguna bolilla o la superficie de los canales de rodadura están deteriorados por desgaste abrasivo o corrosión, no podrá hacerse nada para repararlo. Pero según el grado de deterioro, se lo podrá seguir usando por un tiempo más antes de reemplazarlo por uno nuevo. Llegado el caso, siempre se los podrá reemplazar de a uno o conforme se los necesite.

**Lubricación de los rodamientos:** Una vez secos, coloque 2 o 3 gotas de lubricante solid oil en el interior del rodamiento (NO recomendamos el uso de



grasa) y hágalo girar con los dedos para que el lubricante se distribuya uniformemente alrededor de las bolillas, la jaula y los canales de rodadura.

El Solid Oil es una matriz de polímero saturada de aceite lubricante que rellena el espacio interior del rodamiento por completo y encapsula la jaula y los elementos rodantes. El Solid Oil utiliza la jaula como un elemento de refuerzo y gira con él. Al soltar el aceite, el Solid Oil proporciona una buena lubricación a los elementos rodantes y a los caminos de rodadura durante el funcionamiento.

## MANTENIMIENTO DE LOS ENGRANAJES

**Lubricación de los engranajes:** Todo los engranes sin importar tipos ni materiales tendrán mayores probabilidades de una larga vida útil si se les lubrica en forma adecuada. La lubricación de los engranajes es un requisito básico del diseño tan importante como la resistencia o la durabilidad superficial de los dientes.

Los métodos utilizados para la lubricación de los dientes de los engranajes varían con el tipo de engranaje, la velocidad (en la línea primitiva), el acabado superficial, la dureza y la combinación de materiales. Uno de los métodos de lubricación es el de paletas o brochas, el cual se utiliza exclusivamente en engranajes de muy baja velocidad y de paso muy grande como es el de nuestro diseño, otro método utilizado mayormente en cajas reductoras es por chapoteo; los juegos de engranes de alta velocidad son los mas difíciles de lubricar eficientemente ya que no es fácil sumergir los engranes en el aceite.